U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

# GEOTERMIA E IMPLICAÇÕES NAS TECNOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO – ESTUDO DE CASOS

**JOSÉ PEDRO TEIXEIRA ESPINHEIRA RIO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves

JULHO DE 2011

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao meu Pai

*Não existe falta de energia. Não existe crise energética. Existe uma crise de ignorância.*

*Buckminster Fuller*

**AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Professor Dr. Miguel Gonçalves Chichorro, por ter sido inicialmente o único a acreditar no tema de tese por mim proposto, pela simpatia e total disponibilidade.

À minha namorada e família, pelo apoio.

Um agradecimento especial ao meu pai, José Manuel Vieira Espinheira Rio, pela inspiração que me transmitiu e que deu origem ao tema desta tese.

Ao amigo Engenheiro Rui Almeida, pela inteira disponibilidade, paciência e compreensão, e pela preciosa ajuda.

À empresa "100 Fumos", pela informação e dados fornecidos.

À empresa "Norma – Empresa Técnica Construtora SA", que me permitiu acompanhar no terreno um dos casos de estudo desta tese.

A todos o meu sincero Obrigado.

## RESUMO

Perante um cenário de crise energética mundial, traduzida por consequências negativas ambientais e económicas, salienta-se a necessidade de utilizar mais as energias renováveis, em detrimento das fósseis.

Focando-se no ramo da construção e utilização dos edifícios como consequência desses cenários de crise energética, impõe-se repensar o uso da energia nos edifícios, potenciando a sua eficiência energética.

Assim, dentro de várias hipóteses possíveis, esta dissertação analisou a energia renovável geotermia enquanto utilização energética e em particular nos edifícios e as suas implicações na tecnologia da construção desses edifícios.

A geotermia é um tipo de energia renovável que aproveita o calor proveniente da Terra. Recentemente, Portugal Continental direcciona politicamente o seu uso aos edifícios e em particular na climatização (aquecimento e arrefecimento) e no aquecimento de águas sanitárias, através de bombas de calor geotérmicas. Por outro lado, nos Açores, além deste uso, faz-se ainda o aproveitamento geotérmico para gerar energia eléctrica.

Analisaram-se os vários tipos de captação do calor no solo continental. Deu-se especial ênfase aos dois tipos mais utilizados: captação vertical com sondas geotérmicas e captação horizontal com colectores geotérmicos.

Estudaram-se dois casos de aplicação prática da geotermia nos edifícios. No primeiro caso, foi acompanhado 'In Loco' todo o processo de aplicação desta tecnologia numa moradia, desde a fase de projecto até à sua concretização. No segundo caso, e apoiado nos conhecimentos obtidos anteriormente, foi criada uma proposta de utilização desta tecnologia no desenvolvimento de uma proposta a uma casa, em estudo na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O estudo desta tecnologia permitiu dar a conhecer os passos necessários para a aplicação da geotermia nos edifícios, assim como concluir sobre as suas vantagens económicas e ambientais.


PALAVRAS-CHAVE: energia, eficiência, renovável, geotermia, edifício.

## ABSTRACT

Presenting a global situation of energy crisis, reflected in negative environmental and economic consequences, it should be stressed the need to use more renewable energies at the expense of the non-renewable ones.

Focusing on the construction sector and buildings' usage as one of the scenarios of this crisis, there is a need to rethink energy use in buildings, thus maximizing energy efficiency.

Therefore, this dissertation studied the renewable energy geothermal and its implications in construction technology.

The geothermal is a type of renewable energy that harnesses the heat from the earth. Recently, Portugal Continental directs its use in buildings particularly in the acclimatization (heating and cooling) and water heating through geothermal heat pumps. On the contrary, in the Azores, besides those utilities, it can be also used to generate electricity.

There was analysed the various types of heat uptake in continental soil. Emphasis was put to the two most used types – vertical capture with geothermal probes, and horizontal capture using geothermal collectors.

Two cases of practical application of geothermal energy in buildings were studied. In the first case, it was followed "in loco" the whole process for the application of this technology in a house/house , from initial design to completion. In the second case, and supported by the knowledge obtained above, was created a proposal to use this technology in a home study at the Faculty of Engineering, Oporto (FEUP).

The study of this technology allowed to make known the steps that are necessary for the application of geothermal energy in buildings, and conclude on their economic and environmental benefits.


KEYWORDS: energy, efficiency, renewable, geothermal, building.

**ÍNDICE GERAL**

**AGRADECIMENTOS** ..... i

**RESUMO** ..... iii

**ABSTRACT** ..... v

# 1. INTRODUÇÃO ..... 1

**1.1. OBJECTIVOS** ..... 1

**1.2. MOTIVAÇÃO** ..... 1

**1.3. METODOLOGIAS** ..... 1

**1.4. ESTRUTURA DA TESE** ..... 2

# 2. ENQUADRAMENTO DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA NOS EDIFÍCIOS ..... 3

**2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO** ..... 3

**2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL** ..... 4

**2.3. ENQUADRAMENTO ENERGÉTICO NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL** ..... 5

**2.4. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL** ..... 7

2.4.1. SISTEMAS PASSIVOS ..... 7

2.4.2. SISTEMAS ACTIVOS ..... 7

**2.5. ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO** ..... 8

**2.6. ENERGIA** ..... 9

2.6.1. FORMAS DE ENERGIA ..... 10

2.6.2. FONTES DE ENERGIA ..... 10

2.6.2.1. Fontes não Renováveis, Fósseis ou Convencionais ..... 10

2.6.2.2. Fontes Renováveis ..... 11

2.6.2.2.1. Grupo Ambiental – Sol ..... 12

2.6.2.2.2. Grupo Ambiental – Terra ..... 13

2.6.2.2.3. Grupo Ambiental – Água ..... 15

2.6.2.2.4. Grupo Ambiental – Vento ..... 15

**2.7. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS** ..... 17

# 3. ENERGIA RENOVÁVEL GEOTERMIA ..... 19

**3.1. INTRODUÇÃO ..... 19**

**3.2. APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS NOS AÇORES ..... 20**

3.2.1. CENTRAL GEOTÉRMICA DO PICO VERMELHO ..... 21

3.2.2. CENTRAL GEOTÉRMICA DA RIBEIRA GRANDE ..... 22

**3.3. APROVEITAMENTOS DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EM PORTUGAL CONTINENTAL ..... 25**

3.3.1. APROVEITAMENTOS DE RECURSOS DE POLOS TERMAIS ..... 25

3.3.2. APROVEITAMENTO DE CALOR A PARTIR DE AQUÍFEROS OU FORMAÇÕES ROCHOSAS UTILIZANDO BOMBAS DE CALOR E PERMUTADORES INSTALADOS NO SOLO ..... 27

# 4. GEOTERMIA NOS EDIFÍCIOS ..... 29

**4.1. ESTADO DA ARTE ..... 29**

**4.2. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA GEOTÉRMICO ..... 30**

4.2.1. LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO ..... 30

4.2.2. SUPERFÍCIE DO EDIFÍCIO A CLIMATIZAR ..... 31

4.2.3. POTÊNCIA NECESSÁRIA ..... 31

4.2.4. NECESSIDADES DE AQS ..... 31

4.2.5. TEMPERATURA DE CONFORTO ..... 31

4.2.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ..... 31

**4.3. ENQUADRAMENTO DE UM SISTEMA GEOTÉRMICO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ..... 31**

**4.4. IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS ..... 32**

4.4.1. SISTEMA CONSTRUTIVO ..... 33

4.4.1.1. Implantação ..... 33

4.4.1.2. Solução Construtiva ..... 33

4.4.2. CAPTAÇÃO ..... 33

4.4.3. ZONA TÉCNICA ..... 34

4.4.4. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ..... 34

**4.5. TIPOS DE CAPTAÇÃO ..... 34**

4.5.1. SISTEMA ABERTO ..... 35

4.5.1.1. Sistema de Captação com dois poços ..... 37

4.5.1.2. Sistema de Captação com um só poço ..... 37

4.5.2. SISTEMA FECHADO ..... 38

4.5.2.1. Captação Horizontal ..... 39

4.4.2.2. Captação Vertical ..... 41
4.5.2.2.1. Captação Vertical por Sondas Geotérmicas ..... 41
4.5.2.2.2. Captação Vertical por Pilares Geotérmicos ..... 43
4.5.2.3. Captação Mista ..... 44
**4.6. DIMENSIONAMENTO DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO ..... 46**
4.6.1. OBSERVAÇÃO DO SOLO ..... 46
4.6.1.1. Geologia ..... 47
4.6.1.2. Condutibilidade térmica do terreno ..... 47
4.6.1.3. Superfície disponível ..... 47
4.6.2. DIMENSIONAMENTO DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO ..... 47
4.6.2.1. Teste de Resposta Térmica ..... 49
4.6.2.2. Sondas Geotérmicas ..... 50
4.6.2.3. Colectores Geotérmicos ..... 53
**4.7. MATERIAIS E ACESSÓRIOS DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO ..... 55**
4.7.1. SONDAS GEOTÉRMICAS ..... 55
4.7.1.1. Tubo da Sonda Geotérmica ..... 56
4.7.1.2. Peso de fundo ..... 57
4.7.1.3. Separador ..... 58
4.7.1.4. Material de enchimento e vedação ..... 58
4.7.1.5. Tubo de injecção ..... 59
4.7.1.6. União de sondas ..... 59
4.7.2. COLECTORES GEOTÉRMICOS ..... 60
**4.8. INSTALAÇÃO E MONTAGENS DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO ..... 63**
4.8.1. SONDAS GEOTÉRMICAS ..... 63
4.8.1.1. Execução do furo ..... 63
4.8.1.2. Introdução das sondas geotérmicas no furo ..... 65
4.8.2. COLECTORES GEOTÉRMICOS ..... 68
4.8.2.1. Desaterro do terreno ..... 69
4.8.2.2. Aplicação dos colectores geotérmicos no terreno ..... 69
**4.9. ZONA TÉCNICA – CASA DAS MÁQUINAS ..... 71**
4.9.1. BOMBA DE CALOR ..... 72
4.9.1.1. Princípio de funcionamento da bomba de calor / Aquecimento ..... 73
4.9.1.2. Princípio de funcionamento da bomba de calor / Arrefecimento ..... 75

4.9.1.3. Bomba de calor / AQS ..... 75
4.9.2. OUTROS COMPONENTES ..... 77
**4.10. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ..... 77**
4.10.1. PAVIMENTO RADIANTE ..... 77
4.10.2. VENTILOCONVECTORES ..... 80
4.10.3. OUTROS EQUIPAMENTOS ..... 82

# 5. CASO DE ESTUDO – MORADIA NO PORTO ..... 83

**5.1. IMPLANTAÇÃO DA MORADIA EM ESTUDO ..... 83**
**5.2. ARQUITECTURA ..... 84**
5.2.1. ANÁLISE DO TERRENO E EDIFICAÇÃO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO FECHADO ..... 84
5.2.2. EXECUÇÃO DO PROJECTO DE ARQUITECTURA ..... 86
**5.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS ..... 95**
**5.4. ESTUDO TÉRMICO DA MORADIA ..... 95**
5.4.1. BASES DE DIMENSIONAMENTO ..... 96
5.4.1.1. Condições Exteriores ..... 96
5.4.1.2. Condições Interiores ..... 96
5.4.1.3. Envolvente do Edifício ..... 96
5.4.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS ..... 100
5.4.3. CLASSE ENERGÉTICA ..... 100
**5.4. TIPO DE CAPTAÇÃO ..... 101**
5.4.1. DIMENSIONAMENTO DO TIPO DE CAPTAÇÃO ..... 102
5.4.2. EXECUÇÃO DO FURO ..... 105
5.4.3. APLICAÇÃO DA SONDA GEOTÉRMICA ..... 110
5.4.3. INJECÇÃO DO MATERIAL DE ENCHIMENTO E VEDAÇÃO ..... 113
5.4.4. TESTE DE RESPOSTA TÉRMICA (TRT) ..... 114
**5.5. ZONA TÉCNICA ..... 119**
5.5.1. BOMBA DE CALOR ..... 122
5.5.2. DEPÓSITO DE AQS ..... 123
5.5.3. DEPÓSITO DE INÉRCIA ..... 125
5.5.4. GRUPO DE IMPULSÃO ..... 125
**5.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ..... 127**
5.6.1. PAVIMENTO RADIANTE ..... 127

5.6.1.1. Esquema e princípio de funcionamento ..... 127
5.6.1.2. Montagem do Pavimento Radiante ..... 130
5.6.2. VENTILOCONVECTORES ..... 136
5.6.2.1. Esquema e princípio de funcionamento ..... 136
5.6.2.2. Montagem ..... 137
**5.7. ANÁLISE ECONÓMICA ..... 139**
5.7.1. COMPARAÇÃO DE CUSTOS ANUAIS ENTRE VÁRIOS TIPOS DE ENERGIA ..... 139
5.7.2. AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO ..... 141

**6. CASO DE ESTUDO – CASA S.E.R. ..... 143**
**6.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO – CASA S.E.R. ..... 143**
6.1.1. ORIENTAÇÃO SOLAR ..... 145
6.1.2. CONTROLO DA TEMPERATURA ..... 145
6.1.3. APROVEITAMENTO SOLAR ..... 145
6.1.4. VENTILAÇÃO ..... 145
6.1.5. APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS ..... 145
**6.2. ARQUITECTURA ..... 146**
**6.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS ..... 148**
**6.4. TIPO DE CAPTAÇÃO ..... 149**
6.4.1. DIMENSIONAMENTO DO TIPO DE CAPTAÇÃO ..... 149
6.4.2. EXECUÇÃO DO FURO ..... 151
**6.5. ZONA TÉCNICA ..... 152**
6.5.1. BOMBA DE CALOR ..... 154
6.5.2. DEPÓSITO DE AQS ..... 155
6.5.3. DEPÓSITO DE INÉRCIA ..... 156
6.5.4. GRUPO DE IMPULSÃO ..... 156
**6.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ..... 156**
**6.7. ANÁLISE ECONÓMICA ..... 157**
6.7.1. COMPARAÇÃO DE CUSTOS ANUAIS ENTRE OS VÁRIOS TIPOS DE ENERGIA ..... 157
6.7.2. AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO ..... 158
**6.8. ALTERNATIVAS AO SISTEMA USADO ..... 160**

# 7. CONCLUSÕES ..... 161

**7.1. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTO FUTUROS ..... 161**

7.1.1. CONCLUSÕES ..... 161

7.1.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS ..... 163

**BIBLIOGRAFIA ..... 165**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Classes energéticas de acordo com o SCE [16] ..... 6
Fig.2.2 – Consumo de energia primária no segmento doméstico em Portugal [20] ..... 8
Fig.2.3 – Balanço de energias (Europa-2006) ..... 9
Fig.2.4 – Balanço de energias (Portugal-2006) ..... 9
Fig.2.5 – Fontes de energia não renováveis [21] ..... 11
Fig.2.6 – Energias renováveis ..... 12
Fig.2.7 – Recursos Renováveis na geração de electricidade renovável (Europa-2005) ..... 16
Fig.3.1 – Utilização de fluidos geotérmicos (adaptado de Lindal, 1973) ..... 20
Fig.3.2 – Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho (3 MW – início da utilização da central) [35] .. 22
Fig.3.3 – Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho (10 MW – depois da remodelação) [35] ..... 22
Fig.3.4 – Central Geotérmica da Ribeira Grande [35] ..... 23
Fig.3.5 – Evolução da produção geotérmica em S. Miguel, Açores [34] ..... 23
Fig.3.6 – Evolução da contribuição das fontes de energia em S. Miguel, Açores [34] ..... 24
Fig.3.7 – Emergências termais, temperatura máxima e características da água [40] ..... 26
Fig.3.8 – Ocorrências termais em Portugal Continental [41] ..... 27
Fig.4.1 – Base de instalação de um Sistema Geotérmico num Edifício ..... 30
Fig.4.2 – Base de instalação de um Sistema Geotérmico num Edifício ..... 32
Fig.4.3 – Esquema de captação de energia no solo e a sua emissão para o interior do edifício (Geotermia de Portugal, 2008) ..... 35
Fig.4.4 – Sistema aberto [53] ..... 35
Fig.4.5 – Sistema de Captação com dois poços [54] ..... 37
Fig.4.6 – Sistema de Captação com um só poço [54] ..... 37
Fig.4.7 – Sistema de Captação com um só poço (águas pluviais) [54] ..... 38
Fig.4.8 – Captação Horizontal [56] ..... 39
Fig.4.9 – Captação Horizontal [54] ..... 39
Fig.4.10 – Profundidade e distância entre tubos [57] ..... 40
Fig.4.11 – Captação Vertical por Sondas Geotérmicas [56] ..... 41
Fig.4.12 – Arrefecimento passivo (“Free Cooling”) [58] ..... 42
Fig.4.13 – Pilares energéticos [59] ..... 43
Fig.4.14 – Armadura e colectores geotérmicos dos pilares energéticos ..... 44
Fig.4.15 – Captação Mista [61] ..... 44
Fig.4.16 – Sonda helicoidal em PEX [61] ..... 45

Fig.4.17 – Captação mista – implantação [61] ..... 45

Fig.4.18 – Aplicação das sondas helicoidais [62] ..... 46

Fig.4.19 – Representação da variação da temperatura no solo em profundidade, conforme a estação do ano [63] ..... 48

Fig.4.20 – Ensaio TRT [64] ..... 49

Fig.4.21 – Esquema da sonda geotérmica [67] ..... 55

Fig.4.22 – Sonda geotérmica PEX [63] ..... 56

Fig.4.23 – Sonda geotérmica PE-100 [63] ..... 57

Fig.4.24 – Peso de fundo [68] ..... 57

Fig.4.25 – Pé da sonda [68] ..... 58

Fig.4.26 – Separadores [68] ..... 58

Fig.4.27 – Material de enchimento e vedação / tubo de injecção [54] ..... 58

Fig.4.28 – Tubo de injecção [68] ..... 59

Fig.4.29 – União de sondas [68] ..... 59

Fig.4.30 – Colector geotérmico PEX (Rehau,2008) ..... 60

Fig.4.31 – Implantação do colector geotérmico PEX (Rehau,2008) ..... 60

Fig.4.32 – Colector geotérmico PE-100 (Rehau, 2008) ..... 61

Fig.4.33 – Implantação do colector geotérmico PE-100 (Rehau,2008) ..... 61

Fig.4.34 – Máquina de perfuração [69] ..... 64

Fig.4.35 – Compressor ..... 64

Fig.4.36 – Tubos [69] ..... 65

Fig.4.37 – Martelo de fundo-de-furo [69] ..... 65

Fig.4.38 – Execução de um furo [69] ..... 65

Fig.4.39 – Passo de aplicação 1 – SG ..... 66

Fig.4.40 – Passo de aplicação 2 – SG [69] ..... 66

Fig.4.41 – Passo de aplicação 3 – SG [63] ..... 67

Fig.4.42 – Passo de aplicação 4 (união de sonda) – SG [46] ..... 68

Fig.4.45 – Passo de aplicação 4 (colector de distribuição) – SG [70] ..... 68

Fig.4.46 – Desaterro do terreno [46] ..... 69

Fig.4.47 – Passo de aplicação 1 – CG [63] ..... 69

Fig.4.48 – Passo de aplicação 2 – CG [63] ..... 70

Fig.4.49 – Passo de aplicação 3 – CG [46] ..... 70

Fig.4.50 – Passo de aplicação 4 – CG [63] ..... 71

Fig.4.51 – Bomba de calor (Alfa innotec) ..... 72

Fig.4.53 – Exemplo do COP de 4 [72] ..... 74

Fig.4.54 – Esquema representativo de produção de AQS utilizando uma válvula de 3 vias (Stene, 2004) ..... 76

Fig.4.55 – Pavimento radiante (Uponor, 2011) ..... 77

Fig.4.56 – Relação entre temperaturas e carga térmica [75] ..... 78

Fig.4.57 – Perfis de temperatura para os diversos sistemas de distribuição (função aquecimento) [78] ..... 79

Fig.4.58 – Ventiloconvector (Jaga, 2011) ..... 81

Fig.4.59 – Ventiloconvector embutido na parede ..... 81

Fig.4.60 – Ventiloconvector embutido no tecto ..... 81

Fig.5.1 – Localização geográfica da moradia ..... 83

Fig.5.2 – Delimitação do terreno ..... 84

Fig.5.3 – Fachada de uma das casas existentes ..... 84

Fig.5.4 – Paredes em pedra ..... 85

Fig.5.5 – Gruta artificial ..... 85

Fig.5.6 – Jardim e árvores centenárias ..... 86

Fig.5.7 – Implantação do projecto de arquitectura ..... 87

Fig.5.8 – Vista aérea das moradias H1, H2 A, H3, H4, H2 B e H5 ..... 88

Fig.5.9 – Planta da moradia H2 A / piso 0 ..... 88

Fig.5.10 – Planta da moradia H2 A / piso -1 ..... 89

Fig.5.11 – Planta da moradia H2 A / cobertura ..... 91

Fig.5.12 – Clarabóias existentes na cobertura ..... 91

Fig.5.13 – Painel solar colocado na cobertura ..... 91

Fig.5.14 – Alçado nascente moradia H2 A / Piso 0 e -1 ..... 93

Fig.5.15 – Alçado moradia H2 A / Piso 0 ..... 93

Fig.5.16 – Garagem colectiva e respectiva entrada na garagem individual ..... 93

Fig.5.17 – Vistas aéreas e da cobertura sobre o jardim interior ..... 94

Fig.5.18 – Alçado poente moradia H2 A ..... 94

Fig.5.19 – Elemento construtivo / Cobertura Exterior Plana ..... 97

Fig.5.20 – Elemento construtivo / Parede Exterior ..... 97

Fig.5.21 – Elemento construtivo / Parede Interior 1 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem) ..... 98

Fig.5.22 – Elemento construtivo / Parede Interior 2 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem) ..... 99

Fig.5.23 – Localização dos furos em planta ..... 105

Fig.5.24 – Limpeza e nivelamento do terreno ..... 106
Fig.5.25 – Equipamentos necessários ..... 106
Fig.5.26 – Nivelamento da máquina e montagem dos equipamentos ..... 107
Fig.5.27 – Execução do furo ..... 108
Fig.5.28 – Aplicação da peça de protecção na máquina de perfuração e do plástico na parede ..... 109
Fig.5.29 – Coluna estratigráfica ..... 110
Fig.5.30 – Característica do tubo da sonda geotérmica (PE-100 e diâmetro 32 mm) ..... 110
Fig.5.31 – Preparação da sonda geotérmica ..... 111
Fig.5.32 – Aplicação da sonda geotérmica ..... 111
Fig.5.33 – Corte dos tubos ..... 112
Fig.5.34 – Introdução do material de enchimento e vedação ..... 113
Fig.5.35 – Dobragem das pontas exteriores da sonda geotérmica ..... 114
Fig.5.36 – Preparação do terreno e colocação da caixa ..... 115
Fig.5.37 – Medição da temperatura ..... 116
Fig.5.38 – Caixa de equipamentos de medição ..... 116
Fig.5.39 – Enchimento da sonda com água ..... 117
Fig.5.40 – Ligação entre a sonda e caixa branca ..... 117
Fig.5.41 – Perfil de temperaturas ..... 119
Fig.5.42 – Zona técnica ..... 120
Fig.5.43 – Ligação das sondas geotérmicas à zona técnica ..... 120
Fig.5.44 – Esquema hidráulico da moradia ..... 121
Fig.5.45 – Bomba de calor geotérmica SWC 120H/K ..... 123
Fig.5.46 – Depósito de AQS ..... 124
Fig.5.47 – Depósito de inércia ..... 125
Fig.5.48 – Grupo de impulsão ..... 126
Fig.5.49 – Equipamentos que constituem a zona técnica ..... 126
Fig.5.50 – Caixa de distribuição do piso -1 (zona técnica) ..... 128
Fig.5.51 – Caixa de distribuição do piso 0 (cozinha) ..... 129
Fig.5.52 – Circuitos existentes no piso -1 ..... 129
Fig.5.53 – Circuitos existentes no piso 0 ..... 130
Fig.5.54 – Aplicação das faixas de espuma e dos painéis porta tubos ..... 131
Fig.5.55 – Aplicação do filme de polietileno anti-humidade no piso -1 ..... 131
Fig.5.56 – Aplicação de espuma de poliuretano em falhas ..... 132

Fig.5.57 – Aplicação dos tubos sobre os painéis porta tubos ..... 133
Fig.5.58 – Caixas de distribuição ..... 133
Fig.5.59 – Montagem dos colectores ..... 134
Fig.5.60 – Ligação dos tubos aos colectores no piso 0 (cozinha) ..... 134
Fig.5.61 – Ligação dos tubos aos colectores no piso -1 (zona técnica) ..... 135
Fig.5.62 – Ensaio à carga dos circuitos ..... 135
Fig.5.63 – Aplicação da argamassa sobre os tubos ..... 136
Fig.5.64 – Ventiloconvectores no piso -1 ..... 136
Fig.5.65 – Ventiloconvectores no piso 0 ..... 137
Fig.5.66 – Montagem da pré-instalação dos ventiloconvectores ..... 137
Fig.5.67 – Pormenor geral ..... 138
Fig.5.68 – Pormenor da caixa branca embutida na parede ..... 138
Fig.5.69 – Preço das energias ..... 139
Fig.5.70 – Comparação entre custos anuais ..... 140
Fig.5.71 – Gráfico da comparação entre custos anuais ..... 140
Fig.5.72 – Amortização do equipamento ..... 141
Fig.6.1 – Casa S.E.R. [85] ..... 143
Fig.6.2 – Sistema evolutivo da casa S.E.R. [88] ..... 144
Fig.6.3 – Particularidades da casa S.E.R. [88] ..... 144
Fig.6.4 – Construção de um módulo da casa S.E.R. [86] ..... 146
Fig.6.5 – Pormenores da casa S.E.R. [88] ..... 146
Fig.6.6 – Planta casa S.E.R. [88] ..... 147
Fig.6.7 – Corte da casa S.E.R. [88] ..... 147
Fig.6.8 – Localização da zona técnica e do furo na casa S.E.R. ..... 152
Fig.6.9 – Zona técnica da casa S.E.R. ..... 152
Fig.6.10 – Esquema hidráulico da casa S.E.R. ..... 153
Fig.6.11 – Comparação entre custos anuais ..... 157
Fig.6.12 – Gráfico da comparação entre custos anuais ..... 158
Fig.6.13 – Amortização do equipamento ..... 159
Fig.6.15 – Aerotermia ..... 160

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Consumos energéticos dos edifícios ..... 17
Quadro 4.1 – Associação das curvas às estações da Figura 4.19 ..... 48
Quadro 4.2 – Valores de potência de captação (VDI 4640) ..... 52
Quadro 4.3 – Calor especifico de extracção em função do tipo de subsolo (VDI 4640) ..... 54
Quadro 4.4 – Dimensão do tubo em função do tipo de solo (VDI 4640) ..... 54
Quadro 4.5 – Diâmetro do pé da sonda em função do diâmetro do tubo da sonda (PEX) ..... 56
Quadro 4.6 – Diâmetro do pé da sonda em função do diâmetro do tubo da sonda (PE-100) ..... 57
Quadro 4.7 – Raio de curvatura em função do diâmetro do tubo e da temperatura (PEX) ..... 61
Quadro 4.8 – Raio de curvatura em função do diâmetro do tubo e da temperatura (PE-100) ..... 62
Quadro 4.9 – Características dos materiais PEX e PE-100 ..... 62
Quadro 4.10 – Características dos materiais PEX e PE-100 (continuação) ..... 63
Quadro 4.11 – Valores requeridos para as temperaturas de envio nos circuitos, em diferentes sistemas de distribuição ..... 77
Quadro 5.1 – Área dos compartimentos do piso 0 ..... 89
Quadro 5.2 – Área dos compartimentos do piso -1 ..... 90
Quadro 5.3 – Propriedades do ar exterior ..... 96
Quadro 5.4 – Propriedades do ar interior ..... 96
Quadro 5.5 – Cobertura Exterior Plana ..... 97
Quadro 5.6 – Parede Exterior ..... 98
Quadro 5.7 – Parede Interior 1 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem) ..... 98
Quadro 5.8 – Parede Interior 2 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem) ..... 99
Quadro 5.9 – Características dos Vãos Envidraçados Verticais ..... 99
Quadro 5.10 – Necessidades Energéticas ..... 100
Quadro 5.12 – Cálculo de consumo da moradia ..... 103
Quadro 5.13 – Dados térmicos para aquecimento da moradia ..... 104
Quadro 5.14 – Legenda da ligação das sondas geotérmicas á bomba de calor ..... 120
Quadro 5.15 – Legenda do esquema hidráulico da moradia ..... 121
Quadro 5.16 – Características da bomba de calor geotérmica usada na moradia ..... 122
Quadro 5.17 – Dados térmicos para a água sanitária ..... 124
Quadro 5.18 – Legenda do depósito de AQS ..... 124
Quadro 6.1 – Cálculo de consumo da casa S.E.R. ..... 149
Quadro 6.2 – Dados térmicos para aquecimento da casa S.E.R. ..... 150

Quadro 6.3 – Legenda da zona técnica da casa S.E.R. ..... 153
Quadro 6.4 – Legenda do esquema hidráulico da casa S.E.R. ..... 154
Quadro 6.5 – Características da bomba de calor geotérmica usada na casa S.E.R. ..... 154
Quadro 6.6 – Características da bomba de calor geotérmica usada na casa S.E.R. (continuação) .. 155
Quadro 6.7 – Dados térmicos para a água sanitária ..... 155

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AQS – Águas quentes sanitárias

CE – Comunidade Europeia

CG – Colector Geotérmico

CGPV – Central Geotérmica do Pico Vermelho

CGRG – Central Geotérmica da Ribeira Grande

$CH_4$ – Metano

$CO_2$ – Dióxido de Carbono

COP – Coeficiente de Performance de uma Bomba de Calor

IUCN – International Union for Conservation of Nature

MIT – Massachusetts Institute of Technology

ONG – Organização não-governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

PCI – Potência calorífica

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RSU – Resíduos sólidos urbanos

S.E.R. - Sustainable Evolutive Residence

SCE – Sistema de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior de Edifícios

SERP – Serpentina

SG – Sonda Geotérmica

Taf – Temperatura de água fria

Taq – Temperatura de água quente

Tec – Temperatura exterior corrigida

TH – Temperatura proveniente da fonte quente

Ti – Temperatura interior de conforto

TL – Temperatura proveniente da fonte fria

TRT – Teste de Resposta Térmica

# 1
# INTRODUÇÃO

## 1.1. OBJECTIVOS

O trabalho desenvolvido nesta dissertação tem como objectivo principal a análise da aplicação da fonte de energia renovável – geotermia – no sector da construção (concretamente nos edifícios), analisando o seu contexto económico e tecnológico e as suas implicações construtivas.

## 1.2. MOTIVAÇÃO

Atendendo às preocupações ambientais crescentes, é de todo o interesse potenciar as várias tecnologias de aproveitamento das energias renováveis com o objectivo de redução da pegada ecológica, mas também de diminuir a dependência energética do país.

Acresce que o recente desenvolvimento da tecnologia que utiliza a fonte de energia renovável geotermia permite a sua inclusão no sector da construção, pelo que aqui se pretende fazer um ponto de situação, salientando não só os aspectos favoráveis como os desfavoráveis.

À semelhança de outras tecnologias, há ainda que avaliar o balanço económico global na vida útil do edifício atendendo ao investimento inicial e amortização desse investimento.

## 1.3. METODOLOGIAS

Inicialmente será feita uma análise global da situação energética, desde a crise energética até ao uso das energias renováveis. Já dentro do âmbito das energias renováveis dar-se-á ênfase à geotermia.

Na geotermia vão ser analisados todos os campos de aplicação, sobretudo no ramo da construção em edifícios.

Numa primeira fase será feita uma análise ao estado da arte da geotermia aplicada à edificação, avaliando todos os casos da tecnologia existentes actualmente.

No campo tecnológico da construção, analisar-se-ão as implicações construtivas existentes no uso da geotermia para a climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e aquecimento de águas sanitárias.

Após fazer a contextualização global do uso da geotermia, analisar-se-á a aplicação de um sistema geotérmico numa moradia, sendo um caso de estudo existente.

A avaliação deste caso de estudo permite tomar consciência da problemática da geotermia aplicada à construção em Portugal, numa vertente prática e concretizada. Desta forma, a análise do mesmo possibilitou, de uma forma rápida e pragmática, a avaliação da sua aplicabilidade ao projecto em estudo, a casa S.E.R.

Contribuiu ainda para o enriquecimento deste trabalho do ponto de vista da aplicação da geotermia em Portugal, na medida em que se analisam todos os passos necessários à sua implementação, nomeadamente a análise geotécnica, a análise da viabilidade técnica, a viabilidade económica, a opção do sistema geotérmico, as implicações construtivas, entre outros.

Feito o estado da arte da tecnologia geotermia aplicada à construção e a análise de um caso existente, proceder-se-á à extrapolação dos conhecimentos obtidos para um projecto-piloto (casa S.E.R.), de modo a projectar um sistema geotérmico e analisar todo o seu processo de planeamento.

Por fim e com o objectivo de tirar conclusões relativas à aplicabilidade da geotermia na casa S.E.R., proceder-se-á a uma análise económica da utilização daquela tecnologia.

### 1.4. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação divide-se em 7 capítulos:

O Capítulo 1 menciona os objectivos principais deste trabalho, referindo ainda as razões que o motivaram e as metodologias adoptadas, para além de apresentar a estrutura da tese.

O Capítulo 2 é referente ao enquadramento da utilização da energia nos edifícios, mencionando o contexto histórico do uso da energia; analisaram-se ainda conceitos como desenvolvimento e construção sustentável e fez-se uma análise do consumo energético dos edifícios. Abordaram-se, ainda, os tipos de energias renováveis e não renováveis existentes e suas vantagens e desvantagens. Todos os aspectos acima analisados permitiram, por fim, abordar a eficiência energética nos edifícios.

O Capítulo 3 analisa globalmente os vários tipos de aplicação da fonte de energia renovável geotermia, desde a produção de energia eléctrica até à climatização ambiente e AQS nos edifícios através de uma bomba de calor geotérmica.

O Capítulo 4 faz a análise do estado da arte – geotermia nos edifícios –, abordando todos os campos necessários para a aplicação de um sistema geotérmico na construção de edifícios (climatização ambiente e AQS).

O Capítulo 5 é referente à análise de um caso prático de utilização de um sistema geotérmico numa moradia.

O Capítulo 6 tem como objecto de estudo a casa S.E.R., na qual foram aplicados os conhecimentos obtidos nos capítulos anteriores para a implementação de um sistema geotérmico.

O Capítulo 7 conclui os principais aspectos ambientais e económicos decorrentes da aplicabilidade da geotermia nos edifícios, para além de apontar desenvolvimentos futuros nesta temática.

# 2

# ENQUADRAMENTO DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA NOS EDIFÍCIOS

## 2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

O homem assistiu desde a idade média à destruição dos recursos não renováveis e teve a consciência que o seu mundo é finito quando surgiu a primeira crise energética.

A utilização massificada e indiscriminada dos combustíveis fósseis teve início durante a Idade Média na Europa. Os valores máximos da sua utilização ocorreram na Revolução Industrial, sendo que o seu crescimento no século XX encontrou um primeiro obstáculo em 1973 com a chamada crise petrolífera. Naquela data, 95% da energia mundial provinha de combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas, [1].

É após esta fase que se inicia a consciencialização do conceito de Desenvolvimento Sustentável. É precisamente neste conceito que este trabalho se insere e em particular na construção sustentável.

Hoje assume-se que o elevado consumo energético mundial constitui a principal força motora por detrás de problemas ambientais relacionados com alterações climáticas e questões da qualidade do ar.

O mundo vive actualmente em constante pressão política devido ao uso indiscriminado dos recursos fósseis que teve no passado. Por esse motivo somos altamente penalizados por se ter perturbado o ciclo do carbono e é por isso imposto o fim da cultura do petróleo. A concentração de $CO_2$ na atmosfera passou a ser um indicador fundamental para o desenvolvimento sustentável e as consequências são para ser interpretadas e assumidas, [2].

Vive-se numa fase de "mudanças energéticas", tentando usar menos as energias fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e procurando encontrar soluções nas energias renováveis e na eficiência energética. Estas mudanças de hábitos energéticos têm influências ambientais e económicas.

A crise energética afectou vários ramos, entre os quais, o dos transportes, das indústrias e dentro destas a indústria da construção. Nesta dissertação é abordada a aplicação de uma nova utilização de fonte energética, a geotermia na indústria da construção.

Actualmente, no universo da construção, e neste caso nos edifícios, há a necessidade de conhecer conceitos, como desenvolvimento sustentável e arquitectura e construção sustentável, dando importância à eficiência energética, e à exploração das energias renováveis. Estes aspectos serão referidos nos próximos parágrafos.

## 2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Para melhor compreender o conceito Desenvolvimento Sustentável, far-se-á primeiramente referência aos momentos históricos que levaram ao desenvolvimento e interiorização deste tema.

Foi nos anos 60 que surgiram os movimentos ecologistas, e que influenciaram a ONG denominada Clube de Roma (ainda hoje existente, fundada em 1968). O Clube de Roma reúne intelectuais, académicos, economistas, políticos e cientistas, cuja finalidade é identificar problemas que a humanidade atravessa e comunicá-los à sociedade em geral, [3].

Em 1972, 4 jovens cientistas do MIT defendem uma teoria, através de um livro, sobre os "Os limites do crescimento" [4], concluindo a impossibilidade da continuação do crescimento económico nos moldes daquele tempo, cuja limitação seria imposta pela disponibilidade de recursos naturais.

Em 1973, o aumento dos preços do petróleo na ordem dos 300%, levou a uma reflexão global: a racionalização de matérias-primas deixava de ser vista como um luxo, para se tornar numa necessidade de carácter económico, [5].

Independentemente destas situações, o conceito de Desenvolvimento Sustentável, ainda não tinha sido definido.

É em 1980, que o IUCN (acrónimo para International Union for Conservation of Nature), refere pela primeira vez Desenvolvimento Sustentável nos seguintes modos: "Manutenção dos processos ecológicos essenciais e sistemas de suporte à vida, a preservação da diversidade genética e a utilização sustentável de espécies e ecossistemas", [6].

Nesse ano, a ONU constitui a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, pela primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundland. É neste projecto que se viria a resumir o seu trabalho no chamado relatório de Brundland [7], onde aparece a mais célebre definição de Desenvolvimento Sustentável e que ainda hoje continua a ser utilizado como:

*"O Desenvolvimento Sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas antes um processo de mudança no qual a exploração de recursos, a direcção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais são compatibilizadas com as necessidades futuras assim como com as presentes."*

É nesta altura que as bases teóricas do Desenvolvimento Sustentável já se encontravam desenvolvidas. A partir desta altura surgiram várias conferências que debatiam este conceito, como a Cimeira da Terra (em 1992) [8] que levou à formação da "Agenda 21", onde se começou a fazer referência à Construção Sustentável.

Mas é o ano de 1997 que se faz história nesta matéria, em que é negociado e ratificado o Protocolo de Quioto [9], que envolveu 118 nações num compromisso pela primeira vez ambicioso à escala mundial. Discutiram-se as mudanças climáticas e as políticas a adoptar, denominadas por Mecanismos de Flexibilidade, que tinham como finalidade a redução da emissão de gases na atmosfera. O tratado entrou em vigor em Fevereiro de 2005, mas sem incluir os Estados Unidos da América, responsável por 22% das emissões dos gases.

Com outras conferências pelo meio, é em Dezembro de 2009 que surge a Cimeira de Copenhaga [10], realizada com o intuito de substituir o Protocolo de Quioto, mas não se tendo chegado a um acordo entre as partes.

Actualmente existem algumas acções que caracterizam o Desenvolvimento Sustentável: [11]

- Integrar e racionalizar sistemas de produção de energias renováveis e endógenas: Solar Fotovoltaica, Solar Térmica, Biocombustíveis; Biogás; Biomassa, Geotérmica; Oceanos, Mini-Hídrica; Eólica.
- Integrar sistemas de controlo de eficiência energética, indicadores de consumo e de racionalização.
- Diminuir o impacto ambiental
- Preservar a diversidade biológica e aquática, os sistemas ambientais, paisagísticos e a biodiversidade.
- Preservar e compreender os sistemas humanos e sociais.
- Melhorar a qualidade de vida
- Preservar e incentivar a economia e o comércio local.
- Produção sustentável de alimento e vestuário.
- Desenvolvimento rural e urbano sustentável.
- Arquitectura e construção sustentável.
- Consumo equilibrado.

## 2.3. ENQUADRAMENTO ENERGÉTICO NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

Após a contextualização desta matéria a nível mundial, analisar-se-á o caso Português.

Foram promulgados recentemente o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei nº 80 / 06 de 4 de Abril [12], bem como o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização Energética (RSECE), Decreto-Lei nº 79 / 06 de 4 de Abril [13], ambos com adaptações das novas exigências da União Europeia na área da Eficiência Energética.

Estes regulamentos estão enquadrados no Sistema de Certificação Energética, desenvolvido pela Comissão Europeia em 1991, que obriga a implementação em todos os Estados Membros e visam o fornecimento dos valores de desempenho energético e qualidade térmica aos utentes, conforme a Directiva n.º 2002 / 91 / CE de 16 de Dezembro [14], do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu.

Nesta Directiva estabelece-se que todos os Estados-Membros da União Europeia deveriam implementar um sistema de certificação energética dos edifícios, em que seja possível observar qual o seu nível de desempenho térmico-energético nos momentos de projecto, construção, venda ou arrendamento dos imóveis, públicos ou particulares.

O "Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), criado pelo Decreto-Lei n.º78/06 de 4 de Abril [15], resulta da transposição em Portugal da referida Directiva Comunitária e seu principal objectivo é melhorar o desempenho energético dos edifícios e contribuir para a construção de edifícios menos "energívoros".

O SCE vem, também dar expressão a uma das medidas contempladas na Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24 de Outubro, que aprova a estratégia nacional para a energia, no que respeita à linha de orientação política sobre eficiência energética. Enquadra-se também numa das medidas previstas no Programa Nacional para as Alterações Climáticas, aprovado pela Resolução de Ministros n.º 119/2004 de 31 de Julho, relativa à eficiência energética nos edifícios. [16]

O SCE abrange, de forma faseada, todos os edifícios habitacionais e de serviços, englobando, a sua implementação, três fases distintas, em função da tipologia e da dimensão dos edifícios a certificar.

É através deste sistema que se definem os mecanismos que um promotor deve seguir.

De um ponto de vista prático, o Certificado de Desempenho Energético tem como objectivo informar os utentes sobre a eficiência energética e os consumos de energia esperados numa utilização normal do edifício, verificando o cumprimento dos objectivos do Protocolo de Quioto e, finalmente, assegurar a regulamentação de acordo com as exigências do RCCTE e do RSECE, assim como identificar as medidas de melhoria de desempenho energético.

Fases de implementação do SCE: [16]

- 3 de Junho de 2006: Início da aplicação dos novos regulamentos (RCCTE e RSECE);
- 1 de Junho de 2007: Início da aplicação do SCE a novos grandes edifícios (> 1000 m2) que peçam licença ou autorização de construção após esta data;
- 1 de Julho de 2008: Início da aplicação do SCE a novos pequenos edifícios (< 1000 m2) que peçam licença ou autorização de construção após esta data;
- 1 de Janeiro de 2009: Início da aplicação do SCE a todos os restantes edifícios, incluindo os existentes;

Fig.2.1 – Classes energéticas de acordo com o SCE [16]

O modelo de certificação energética recorre à aplicação de um conjunto de procedimentos extremamente simples de serem implementados nos actos de licenciamento e de construção dos edifícios. O utilizador final terá acesso a um indicador de desempenho escalonado de A a G.

Princípios de funcionamento do SCE:

- Assegurar a aplicação dos regulamentos relativos à eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior (RCCTE e RSECE);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as alterações e melhorias necessárias nos edifícios e sistemas energéticos (caldeiras e equipamentos de ar condicionado), no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior;

## 2.4. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Depois de analisado o estado do Desenvolvimento Sustentável, abordar-se-á um dos seus ramos, a Construção Sustentável.

A Construção Sustentável está inteiramente relacionada com as três dimensões fundamentais do Desenvolvimento Sustentável, ou seja, a económica, a social e a ambiental. Por esta razão, a Construção Sustentável apoia-se em alguns pilares essenciais, como por exemplo, economizar a energia e água, maximizar a durabilidade, minimizar a produção de resíduos, assegurar a salubridade dos edifícios, a utilização de materiais eco eficientes, planear a conservação e a reabilitação, diminuir os custos e garantir a higiene e segurança nos trabalhos, [17].

A construção sustentável pode ser definida como um conjunto de técnicas, metodologias e materiais que podem melhorar a qualidade das construções, assim como, dos utentes que as utilizam, com o intuito de tirarem vantagens ambientais e económicas.

Um dos aspectos importantes a ter em conta na Construção Sustentável é o consumo energético dos edifícios, procurando soluções que façam um uso eficiente da energia disponível, aproveitando as fontes de energias renováveis e optimizando as não renováveis, [18].

O objectivo é atingir o conforto no interior do edifício, usando métodos naturais (sistemas passivos) e métodos artificiais (sistemas activos), sistemas estes integrados, desde a concepção do projecto, até à sua aplicação.

### 2.4.1. SISTEMAS PASSIVOS

A utilização dos sistemas passivos visa primeiramente perceber o enquadramento geográfico do local para tirar partido das condicionantes ambientais e então projectar o edifício, tendo em consideração alguns aspectos. A orientação solar, a oscilação da temperatura local, o movimento do ar e do vento, a percentagem de humidade local, a vegetação, a tradição construtiva e a percentagem de luz local, [19].

Estes aspectos servem para potenciar, na fase de projecto, as componentes que possibilitam o arrefecimento, aquecimento, ventilação, luminosidade, entre outros, para um maior equilíbrio e conforto térmico, acústico e visual.

### 2.4.2. SISTEMAS ACTIVOS

A utilização dos sistemas activos passa pela integração nos edifícios de componentes como: painéis fotovoltaicos, painéis solares térmicos, climatização, controlo e redireccionamento de luz natural, controlo de iluminação artificial, controlo e racionalização de água e de electricidade, entre outros, [11].

No entanto, também vão existindo elementos incorporados no projecto arquitectónico, para um maior controlo energético do edifício, nomeadamente as coberturas ajardinadas, paredes de trombe, ventilação subterrânea, elementos de sombreamento, etc.

Existem várias técnicas para uma construção mais sustentável, de modo a ter sempre um conforto térmico óptimo dentro dos edifícios. Das várias técnicas existentes, será analisada neste trabalho uma alternativa de um sistema de climatização, usando uma fonte de energia renovável.

Para uma melhor compreensão do peso energético do sistema de climatização num edifício, é apresentada no próximo parágrafo uma análise relativa das necessidades energéticas.

## 2.5. ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DE UM EDIFÍCIO

O consumo energético em Portugal é caracterizado principalmente por duas formas de energia final, o gás e a electricidade.

Para compreender melhor o consumo energético de um edifico é apresentado na Figura 2.2 o balanço energético típico em Portugal.

A vermelho estão representados os consumos relativos à climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e às águas quentes sanitárias; a azul estão os restantes consumos, como é possível analisar pela figura 2.2..

Fig.2.2 – Consumo de energia primária no segmento doméstico em Portugal [20]

Como é possível observar pela análise da Figura 2.2, a biomassa e o gasóleo para o aquecimento tem um peso pouco significativo em termos de energia final.

Também se pode verificar que aproximadamente 55% da energia final utilizada no consumo doméstico destina-se ao aquecimento / arrefecimento ambiente ou aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS). Os restantes consumos são essencialmente eléctricos, sendo a sua distribuição feita da seguinte maneira:

- Frio/alimentação – 20%
- Iluminação – 5 a 10%
- Entretenimento – 5 a 10%
- Roupa – 5%

Analisada aquela figura é possível concluir que o consumo energético no aquecimento / arrefecimento ambiente e de AQS num edifício é muito significativo, comparativamente com o total.

Os equipamentos mais usuais neste tipo de situações, são os esquentadores para as AQS e os sistemas de aquecimento centralizado e sistemas de ar condicionado para o aquecimento / arrefecimento ambiente. Normalmente estes equipamentos são abastecidos por gás e energia eléctrica, respectivamente. Actualmente o regulamento RCCTE já obriga a implementação de painéis solares térmicos, com o intuito de fazer o aquecimento das águas sanitárias.

Uma vez que estes combustíveis (electricidade e gás) provocam emissões de gases na atmosfera e o seu custo ser elevado, há necessidade de encontrar soluções que contrariem estes aspectos. O ideal é

ter um edifício que consuma energia renovável, compensando os consumos e as emissões geradas com os sistemas existentes tradicionais.

O sistema ideal do ponto de vista energético é o que combina painéis solares térmicos com uma bomba de calor, idealmente geotérmica (caso de estudo nesta dissertação).

## 2.6. ENERGIA

O acesso à energia é fundamental para o desenvolvimento das sociedades. No entanto, a maior parte da energia que utilizamos provém de combustíveis fósseis, como é o caso do carvão, do gás e do petróleo, sendo que as suas reservas têm vindo a ser cada vez mais escassas, [21].

A utilização excessiva destes combustíveis fósseis provoca o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global do planeta, através do efeito de estufa.

Devido a estes motivos, a sociedade vê-se ameaçada e com um futuro preocupante se não encontrar novas soluções. É por esta razão que surgem várias apostas na utilização das fontes de energia renováveis.

É apresentado nas Figura 2.3 e 2.4 um mapa que mostra o balanço do consumo interno bruto das energias na Europa e mais em concreto em Portugal, [22].

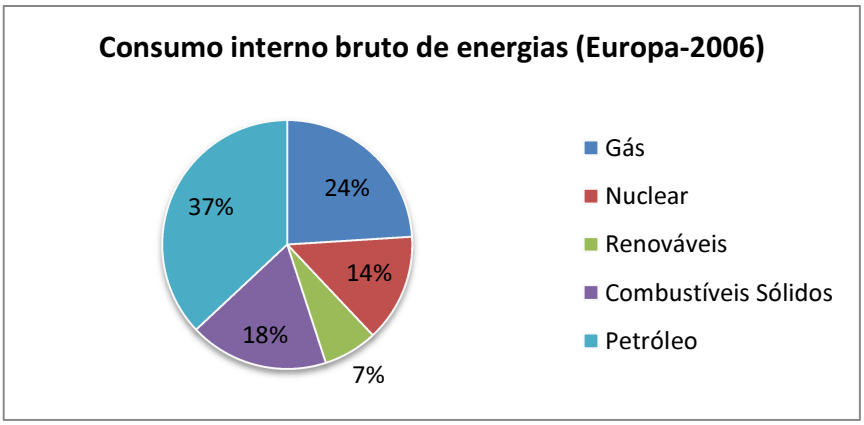


Fig.2.3 – Balanço de energias (Europa-2006)

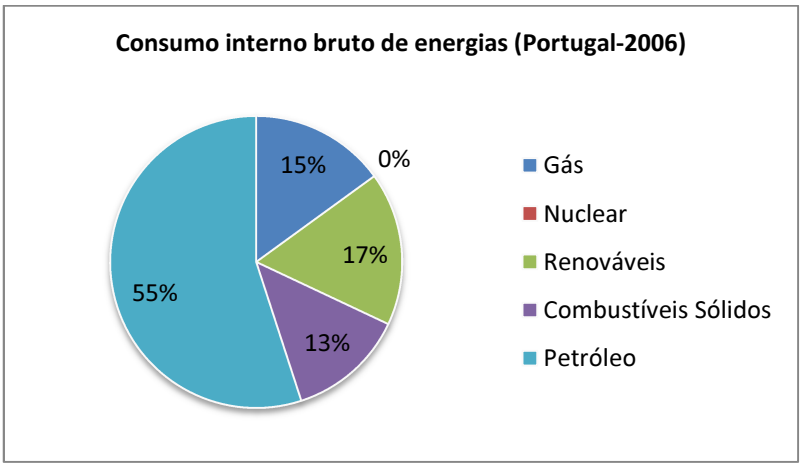


Fig.2.4 – Balanço de energias (Portugal-2006)

Como é possível analisar pela Figura 2.3 e 2.4, o petróleo continua a ser o produto mais usado das energias existentes.

Actualmente as necessidades energéticas do mundo, assentam essencialmente em explorações de combustíveis fósseis. As reservas destes combustíveis têm a tendência a escassear e a aumentar os seus preços. Além disso, a sua utilização é altamente poluente.

Devido à instabilidade dos preços existentes do petróleo e do gás, alguns países começaram a usar mais o carvão, sendo este o mais poluente das tecnologias de aproveitamento energético.

De modo a atenuar os gases libertados devido ao uso de energias fósseis e aos preços que hoje são aplicados, há uma grande tendência para o uso de energias renováveis.

Para perceber a aplicação da fonte energética em particular na construção é importante fazer a sua divisão quanto à forma e fonte, aspecto referido nos parágrafos seguintes.

### 2.6.1. FORMAS DE ENERGIA

São apresentadas algumas formas de energia, assim como a sua definição, [23].

Energia Solar – é a energia associada à radiação emitida pelo sol.

Energia Luminosa – é a energia associada à luz que se pode ver, emitida pelo sol, por uma lâmpada ou por uma vela.

Energia Térmica – é a energia associada à diferença de temperatura de um corpo relativamente ao meio ambiente onde se integra.

Energia Hídrica – é a energia potencial associada à água armazenada numa barragem.

Energia das ondas – é a energia associada ao movimento das ondas do mar.

Energia Química – é a energia associada aos combustíveis, alimentos, explosivos, etc.

Energia Geotérmica – é a energia associada ao calor proveniente do interior da Terra.

Energia Eólica – é a energia associada ao vento, ou seja, ao movimento do ar.

Energia Sonora – é a energia associada à propagação das ondas sonoras.

### 2.6.2. FONTES DE ENERGIA

As fontes de energia podem ser divididas em dois tipos:

- Fontes não renováveis, fósseis ou convencionais
- Fontes renováveis

Será descriminada nos parágrafos seguintes cada uma destas fontes de energia.

#### 2.6.2.1. Fontes não Renováveis, Fósseis ou Convencionais

As fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e que se esgotam com a sua utilização. Uma vez esgotadas, as reservas não podem ser regeneradas. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e o urânio (Figura 2.5), [24].

Fig.2.5 – Fontes de energia não renováveis [21]

Os combustíveis fósseis são formados pela decomposição da matéria orgânica, através de um processo que demora milhões de anos. A regeneração destes combustíveis é um problema, pois uma vez esgotados, só existirão passado bastante tempo.

O carvão é o que acarreta mais impactos ambientais, em termos de poluição e alterações climáticas, enquanto o petróleo é uma das maiores fontes de poluição atmosférica e o grande motivo de problemas económicos e conflitos.

Uma das consequências mais gravosas da utilização destes combustíveis é o aumento do efeito de estufa, que tem origem nas elevadas emissões de alguns gases para a atmosfera terrestre, resultantes da combustão de recursos fósseis.

A queima de combustíveis fósseis aumenta a poluição atmosférica, promove as chuvas ácidas, danificando o ambiente e pondo em risco a biodiversidade do planeta.

A economia está dependente destes combustíveis fósseis, que prevendo-se que acabe em poucas décadas, provocam oscilações dos seus preços.

#### 2.6.2.2. Fontes Renováveis

Diz-se que uma fonte de energia é renovável quando não é possível estabelecer um fim temporal para a sua utilização. As energias renováveis são inesgotáveis, mas limitadas em termos da quantidade de energia que é possível extrair em cada momento, [24].

As energias renováveis podem ser subdivididas sobre os quatro grupos ambientais, Sol, Terra, Água e Vento, como se observa na figura 2.6., [26].

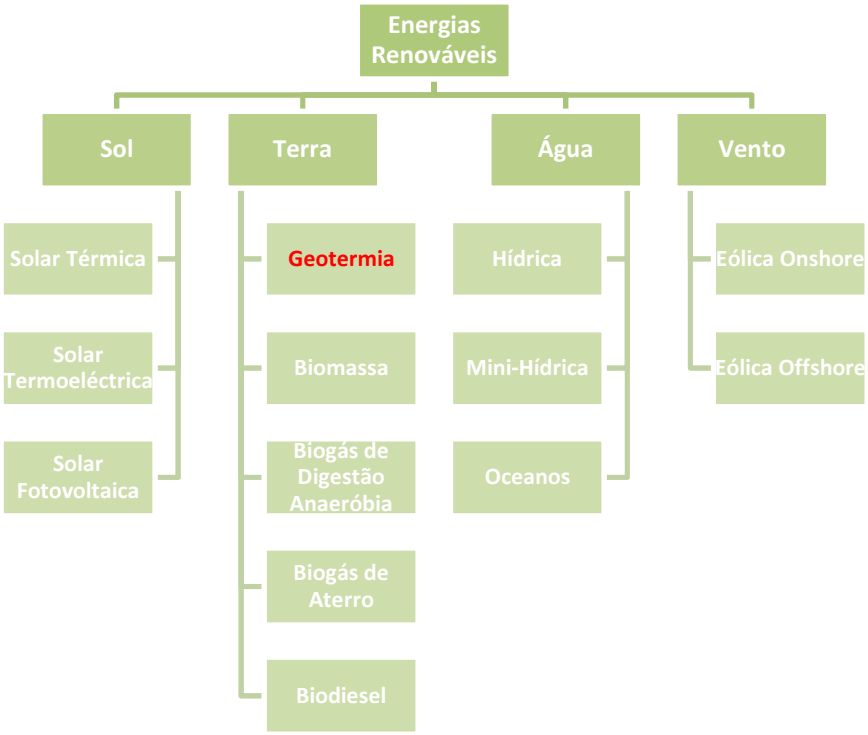


Fig.2.6 – Energias renováveis

As grandes vantagens da sua utilização consistem no facto de não serem poluentes e poderem ser exploradas localmente. Esta última vantagem contribui para a redução da necessidade de importação de energia, atenuando a dependência energética relativamente aos países produtores de petróleo e gás natural, [25].

A utilização da maior parte das energias renováveis existentes não leva à emissão de gases com efeito de estufa, excepto a biomassa, onde há a queima de resíduos orgânicos para obter energia.

Um dos grandes problemas da utilização actual das energias renováveis é o custo de instalação, o desconhecimento e a falta de sensibilização para o assunto.

Devido aos motivos apresentados anteriormente, sobre as desvantagens do uso dos combustíveis fósseis, as energias renováveis surgem como uma alternativa ou complemento às convencionais.

Para uma melhor compreensão dos vários tipos de energias renováveis existentes, é importante definir cada uma delas, assim como, para que servem e como funcionam, [26].

#### 2.6.2.2.1. Grupo Ambiental – Sol

Solar Térmica

O equipamento designado por solar térmico é um equipamento mecânico com uma entrada transparente à radiação solar, que capta e converte a energia contida nos fotões solares, em energia térmica. Destina-se ao aquecimento de água, de ar, ou de outro fluido térmico de transferência de energia.

O modo de funcionamento passa por um colector solar, que basicamente, é uma caixa isolada com uma entrada transparente (abertura) aos fotões solares, uma placa metálica (absorsor) que aquece ao converter a energia dos fotões em energia térmica e um circuito de água ou de outro fluido, soldado ao absorsor, que recolhe esse calor.

Solar Termoeléctrica

A termoelectricidade solar é a electricidade produzida em centrais solares de torre, ou distribuídas, utilizando concentradores da radiação solar para que se atinjam as temperaturas necessárias ao funcionamento dos grupos turbogeradores convencionais.

As centrais termo-solares produzem electricidade em centrais semelhantes às convencionais, ao nível da potência e dos principais equipamentos, podendo funcionar de forma híbrida e, assim, aproveitar as redes de distribuição existentes.

A radiação solar, concentrada num foco (linear ou pontual), aquece um fluido, cuja energia pode ser utilizada em diferentes ciclos termodinâmicos, accionando, directamente os grupos turbogeradores, ou passando pela produção intermédia de vapor.

Solar Fotovoltaica

É a conversão directa de Energia Solar em electricidade.

Serve para produzir energia eléctrica a partir de energia solar, em locais isolados, ou para integração directa na rede eléctrica. Podem também ser utilizados em sinalização de emergência, na bombagem de água e em outras aplicações de pequeno consumo.

Este tipo de energia funciona a partir da conversão da luz solar numa corrente eléctrica em materiais semi-condutores.

#### 2.6.2.2.2. Grupo Ambiental – Terra

Geotermia

Geotermia é a designação usada para as ciências e técnicas que estudam e exploram o calor terrestre, ou energia geotérmica.

O fluido geotérmico que é usualmente a água, serve de veículo de transporte do calor gerado no interior da terra para a superfície.

Devido à heterogeneidade da crosta terrestre, o gradiente de temperatura pode ser localmente inferior ou superior ao valor médio. Alta e baixa entalpias são utilizadas para identificar as características do fluido – água, consoante a sua temperatura seja superior ou inferior a 150 °C.

Biomassa

A Biomassa consiste na fracção biodegradável proveniente de produtos e resíduos da agricultura, pecuária e silvicultura, bem como de resíduos industriais e urbanos.

Pode-se transformar a biomassa em energia eléctrica, térmica (aquecimento e/ou arrefecimento), gerar calor e electricidade conjuntamente, em processos de co-geração ou tri-geração, ou obter biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Existem diversas formas de aproveitamento energético de biomassa, de que se destacam as que, através de processos de queima (em caldeiras e fornalhas) a transformam em energia térmica e/ou eléctrica.

Biogás de Digestão Anaeróbia

O biogás resulta da decomposição de matéria orgânica, sem oxigénio, sob acção de bactérias específicas. É uma mistura gasosa com elevadas percentagens de metano ($CH_4$), de dióxido de carbono ($CO_2$) e pequena quantidade de outros compostos.

Como combustível serve para a produção convencional de energia eléctrica e térmica, em meios de transporte, em células de combustível, ou na distribuição com gás natural. O poder calorífico inferior do biogás depende das concentrações de metano e varia entre 5000 a 7000 kcal/$m^3$.

O funcionamento passa por um tanque fechado onde os microrganismos actuam na decomposição da matéria orgânica. Uma série de etapas bioquímicas promovem a degradação dos compostos orgânicos complexos, até a obtenção de compostos mais simples.

Obtêm-se dois subprodutos do processo, o biogás e um composto digerido.

Biogás de Aterro

É uma fonte de energia renovável, composta por metano e dióxido de carbono. É um biocombustível gasoso, produto final da bio conversão anaeróbia de matéria orgânica, processo que ocorre, naturalmente, em locais onde há acumulação de matéria orgânica.

É um biocombustível que, dado a elevada percentagem de metano, tem diversas utilizações, desde a produção de energia térmica e eléctrica, até à sua aplicação no mercado dos transportes, como alternativa aos combustíveis fósseis convencionais.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) contêm 50% a 70% de matéria orgânica biodegradável. Quando acumulados em aterro são degradados por acção biológica, em condições de humidade e temperatura, produzindo um efluente líquido (lixiviados) e um gasoso (biogás).

Biodiesel

É um combustível biodegradável, produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais. Actualmente, os óleos de cozinha, soja, palma e girassol são os mais utilizados.

Pode substituir o gasóleo rodoviário. O biodiesel pode ser misturado com gasóleo em qualquer proporção e ser usado nos motores a gasóleo normalmente utilizados.

Pode ser usado puro ou misturado com diesel, dependendo do motor. As misturas denominam-se BXX, sendo XX a percentagem de biodiesel da mistura (B20 contém 20% de biodiesel e 80% de gasóleo). As percentagens mais utilizadas por veículos ligeiros são 5, 20 e 30 % de biodiesel, e por veículos pesados, podem ser usadas misturas mais ricas em biodiesel ou biodiesel puro, conforme o motor.

#### 2.6.2.2.3. Grupo Ambiental – Água

Hídrica

Designa-se por energia hídrica a energia mecânica disponível associada à água, em repouso ou em movimento, sob o efeito da gravidade. A ocorrência de água na natureza resulta do ciclo hidrológico, pelo que a energia hídrica é considerada uma fonte de energia renovável ou endógena.

A energia hídrica começou por ser convertida em energia mecânica (moinhos e azenhas) e, actualmente, tem por finalidade predominante a produção de energia eléctrica em centrais hidroeléctricas.

O esquema típico de uma instalação hidroeléctrica inclui uma barragem, que permite o armazenamento temporário de água (na albufeira), e a derivação de um caudal para a central onde ocorre a conversão de energia hídrica em energia eléctrica. Posteriormente, este caudal é restituído a uma cota inferior à da albufeira.

Mini-Hídrica

É uma instalação que permite transformar a energia da água de um rio em energia eléctrica, utilizando desníveis topográficos. É usual denominar-se como mini-hídricas os aproveitamentos hidroeléctricos com uma potência instalada inferior a 10 MW.

Produz energia eléctrica utilizando recursos naturais, endógenos. Por se tratar de uma tecnologia limpa, permite substituir a produção de electricidade pela via térmica, contribuindo assim para a redução de emissões poluentes e para a redução da importação de energia.

No fundo uma mini-hídrica funciona como um antigo moinho de água, ao qual se junta um gerador, que transforma a energia mecânica em energia eléctrica.

Oceanos

A energia contida nos oceanos pode ocorrer de diversas formas: marés, correntes marítimas, gradiente de temperatura, gradiente de salinidade e ondas. Estas últimas são responsáveis por metade do recurso mundial de energia oceânica e as únicas relevantes em Portugal.

Exceptuando a central de maré de La Rance, construída em França, em 1966, não há ainda exploração comercial deste recurso. Prevê-se que possa ser utilizada para produzir energia eléctrica, e, numa fase posterior, água doce e hidrogénio.

Cada forma de energia dos oceanos tem a sua própria tecnologia. No caso das ondas há 5 princípios básicos, ainda em desenvolvimento, mas, em geral, aproveita-se o movimento relativo induzido pelas ondas entre duas ou mais partes do mesmo dispositivo.

#### 2.6.2.2.4. Grupo Ambiental – Vento

Eólica Onshore

Trata-se da energia contida no vento. É uma energia cinética obtida pela deslocação de massas de ar, em consequência de diferenças de pressão atmosférica. Entre muitas outras utilizações, é aproveitada nos parques eólicos para produzir energia eléctrica.

Serve para navegar (desde há vários séculos), quando usada directamente. Sendo convertida em energia mecânica, pode ser usada para moer cereais, bombear água, gerar energia eléctrica, etc. O caso da energia eléctrica tem tido um incremento exponencial nos últimos anos, através da instalação de aerogeradores.

A energia cinética do vento é captada pelas pás do rotor do aerogerador e convertida em energia mecânica, e, posteriormente, transformada em energia eléctrica no gerador. Esta energia é depois injectada na rede eléctrica de distribuição, ou de transporte.

Eólica Offshore

A energia eólica offshore consiste na instalação de parques eólicos nos oceanos e a sua exploração iniciou-se no final do século XX, com a instalação do parque eólico de Vindeby nos fiordes (grande entrada do mar em volta da altas montanhas rochosas) pouco profundos da costa dinamarquesa.

Serve para a produção de electricidade a partir de uma fonte renovável.

A energia cinética do vento é convertida em energia mecânica, utilizando pás com características aerodinâmicas adequadas e, posteriormente, em energia eléctrica, sendo esta ultima entregue à rede.

Analisadas as várias fontes de energias renováveis, são apresentados duas figuras com o intuito de mostrar o peso das energias renováveis na geração de electricidade a nível a europeu (Figura 2.7), [27].

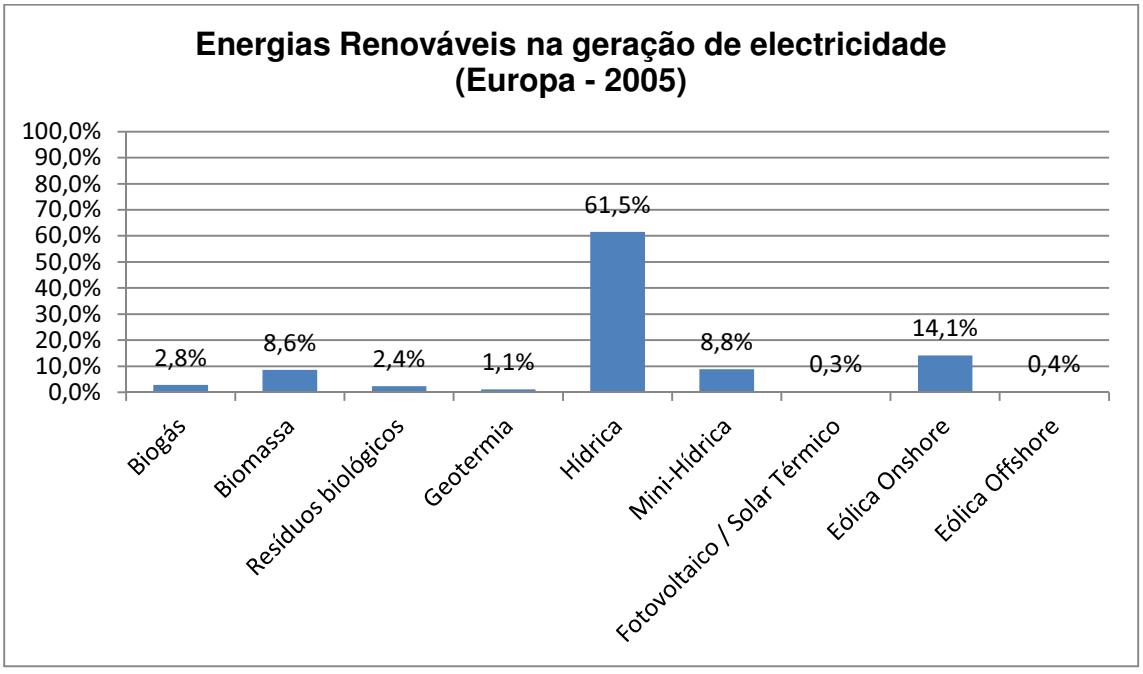


Fig.2.7 – Recursos Renováveis na geração de electricidade renovável (Europa-2005)

As energias renováveis têm ganho cada vez mais peso e isto deve-se à eficácia das políticas da União Europeia, que têm como objectivo reduzir a emissão de $CO_2$ e a dependência das importações.

## 2.7. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS

À escala mundial, o consumo de energia final pode ser repartido por três grandes sectores, os transportes, a indústria e os edifícios. Na União Europeia, são os edifícios que mais consomem energia, cerca de 40% da energia final consumida em comparação com os transportes e indústria, [28].

A eficiência energética pode ser definida como a optimização e racionalização do consumo da energia, qualquer que seja a proveniência. Num sistema de aquecimento e arrefecimento num edifício atinge um nível mais elevado, quanto menor for o consumo de energia para manter as condições de calor o mais estáveis possíveis, proporcionando assim o bem-estar dos utilizadores, [29].

Nos edifícios, a primeira preocupação sobre a utilização sustentável começa na fase de projecto, procurando soluções que maximizem o conforto higrotérmico, para evitar o uso sistemático e indiscriminado dos sistemas activos de climatização dos edifícios.

Para se ter uma ideia dos consumos energéticos dos edifícios residenciais, é apresentado um quadro com valores em termos de utilização final (Quadro 2.1), [30].

Quadro 2.1 – Consumos energéticos dos edifícios

| Cozinha e AQS | Iluminação e Electrodomésticos | Aquecimento e Arrefecimento |
|---|---|---|
| 50% | 25% | 25% |

Estes valores representam uma mera grandeza do consumo energético mas que nos ajudam a identificar os principais vectores de actuação dos edifícios, de forma a optimizar a eficiência térmica e energética.

Analisando estes valores, pode-se destacar: [16]

a) O peso decisivo dos consumos correspondentes à produção de AQS, cuja fonte energética (energia final) se divide, maioritariamente, entre o gás e a electricidade, e onde a energia solar térmica e a geotérmica poderão ter um impacto muito importante na sua redução.

b) O peso importante dos consumos correspondentes aos electrodomésticos e à iluminação, onde o incremento da eficiência energética é fundamental. Neste caso são importantes as estratégias da etiquetagem energética e da obtenção de níveis mínimos da eficiência dos electrodomésticos e das lâmpadas, de modo a poder-se informar os consumidores sobre quais as opções mais adequadas.

c) O peso crescente dos consumos destinados ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), embora não sejam muito significativos em termos globais (cerca de 25%). Este consumo tem aumentado significativamente nos últimos anos com a atenção dada às exigências de conforto.

No controlo do seu crescimento surge como determinante o modo de aplicação do isolamento térmico, as soluções de ventilação, assim como os sistemas de climatização instalados.

Nesta tese vai ser analisado um sistema de climatização usando uma fonte de energia renovável, a energia geotérmica, para fazer o aquecimento e arrefecimento ambiente e o aquecimento das águas sanitárias. Esta tecnologia visa aproveitar as energias renováveis na alimentação do conforto de um

edifício, baixando o consumo energético não renovável (combustíveis fósseis) e economizando a exploração do sistema.

# 3
# ENERGIA RENOVÁVEL GEOTERMIA

## 3.1. INTRODUÇÃO

Geotermia é a designação usada para as ciências e técnicas que estudam e exploram o calor terrestre, ou energia geotérmica. A energia geotérmica é definida pela Comissão Europeia como "a energia armazenada na forma de calor de baixo da superfície da terra", [31].

O fluido geotérmico, que é usualmente a água, serve de veículo de transporte do calor gerado no interior da Terra para a superfície. A utilização da energia geotérmica depende da gama de temperaturas e dos caudais disponíveis.

Os caudais disponíveis e a gama de temperaturas vão determinar as dimensões da central geotérmica, sendo o tipo de aplicação geotérmica condicionada pela temperatura.

Devido à heterogeneidade da crosta terrestre, o gradiente de temperatura pode ser localmente inferior ou superior ao valor médio. Alta e baixas entalpias, são, geralmente, utilizadas para identificar as características térmicas, do fluido – água, consoante a sua temperatura seja superior ou inferior a 150ºC.

Existem três formas de utilizar a energia geotérmica: [32]

- Utilização directa – reservatórios geotérmicos de temperaturas baixas e moderadas (20 °C a 150 °C) podem ser aproveitadas directamente para fornecer calor para a indústria, aquecimento ambiente, termas e outros aproveitamentos comerciais.
- Bombas de calor geotérmicas – aproveitam as diferenças de temperatura entre o solo e o ambiente, fornecendo calor e frio.
- Centrais geotérmicas – aproveitamento directo de fluidos geotérmicos em centrais a altas temperaturas (> 150 °C), para movimentar uma turbina e produzir energia eléctrica.

A exploração da energia geotérmica deve ser idealizada em cascata, com utilização progressiva de temperaturas. Segundo Lindal (1973), são indicadas na Figura 3.1 as utilizações de acordo com as temperaturas do fluido geotérmico, [33].

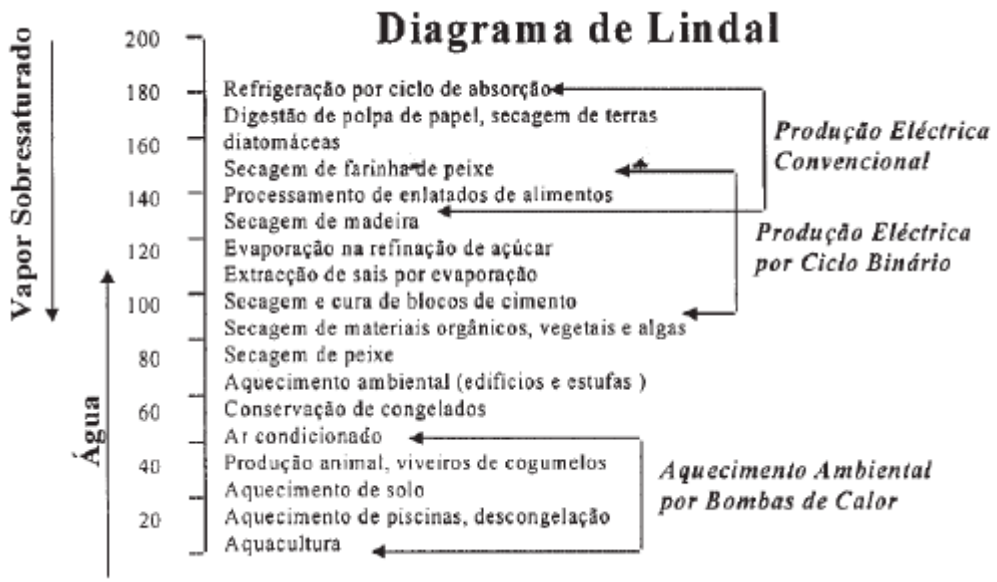


Fig.3.1 – Utilização de fluidos geotérmicos (adaptado de Lindal, 1973)

O principal uso da energia geotérmica de alta entalpia é realizado nos aproveitamentos geotérmicos nos Açores para a produção de energia eléctrica. A geotermia de baixa entalpia é aplicada em utilizações directas de calor subterrâneo em aquecimento e arrefecimento. Em Portugal Continental como estão dispostos somente recursos de baixa entalpia, não há produção de electricidade.

Este tipo de energia é competitiva relativamente às alternativas a partir dos combustíveis fósseis, vantagem que tem vindo a aumentar, face ao aumento dos preços dos derivados do petróleo.

## 3.2. APROVEITAMENTOS GEOTÉRMICOS NOS AÇORES

Os Açores são uma região altamente dependente dos derivados do petróleo. No entanto, dispõe de abundantes recursos de energia renovável como a eólica, a hídrica e a geotérmica. Relativamente a estes tipos de energia, a que apresenta maior potencial de utilização é a energia geotérmica, devido ao processo de formação do arquipélago e pela localização junto da Crista Média Atlântica, [34].

A Crista Média Atlântica está situada na confluência de três placas tectónicas (Americana, Africana e Euro-Asiática), que proporciona uma intensa actividade vulcânica – mais de trinta erupções vulcânicas históricas registadas e outras manifestações superficiais. Estes eventos são de facto indicadores da quantidade de energia existente no subsolo do arquipélago dos Açores.

A energia geotérmica, sendo o calor que existe no interior da Terra, pode no seu processo de arrefecimento dissipar esse calor em qualquer ponto da superfície terrestre. No entanto, existem regiões onde a libertação desse calor tem maior intensidade, como é o caso dos Açores.

Nos Açores, devido à baixa profundidade onde pode ser captado o calor, o aproveitamento energético é mais fácil e economicamente mais viável. Este calor é aproveitado para a produção de energia eléctrica, ou utilizado directamente para aquecimento de estufas, secagem de madeira, frutos e vegetais, em aquacultura, na produção de frio, no aquecimento ambiental e em balneoterapia. As diferentes aplicações dependem da temperatura do fluido geotérmico, sendo os recursos de alta

entalpia usados para a produção de energia eléctrica e os de baixa entalpia em aplicações directas do calor.

Estes fluidos geotérmicos captados são conduzidos para a superfície, aproveitando-se o seu calor em centrais geotérmicas para a produção de electricidade, ou utilização directa em processos industriais ou domésticos.

Um aspecto importante a salientar, relativamente ao uso deste tipo de energia renovável, é o facto de não ser dependente das condições atmosféricas, sendo possível fazer um aproveitamento de forma contínua e estável. Devido a esta vantagem há a garantia de potências adequadas para trabalhar na base do diagrama de carga eléctrica.

Para o aproveitamento do calor há a necessidade de execução de infra-estruturas adequadas de captação, poços, a construção de equipamentos electromecânicos e uma central, onde se procede às trocas de calor e à sua transformação em energia eléctrica.

A produção de energia usando recursos geotérmicos é cada vez mais competitiva relativamente às alternativas obtidas a partir dos combustíveis fósseis, devido ao aumento dos custos dos derivados do petróleo.

Um aproveitamento geotérmico tem um elevado custo inicial, comparativamente com as alternativas existentes, pois, para além da construção da central, é necessário executar um parque de poços de produção e injecção. É importante salientar que os custos directos de produção são baixíssimos e que a exposição a factores externos é relativamente reduzida, o que proporciona um custo de produção calculado durante a vida útil do projecto.

Relativamente ao impacto ambiental na produção de energia através desta tecnologia, verifica-se que a área afectada é muito reduzida, comparativamente com outros modos de produção de energia, que usam processos de queima de derivados do petróleo.

Nos Açores existem algumas centrais geotérmicas para a produção de energia eléctrica. As duas centrais mais importantes são a Central Geotérmica do Pico Vermelho (CGPV) e a Central Geotérmica da Ribeira Grande (CGRG), situadas na Ilha de S. Miguel.

Estas duas centrais são abastecidas por fluidos captados num reservatório de alta entalpia, com temperaturas máximas compreendidas entre 235 °C e 240 °C cujas formações de maior produtividade surgem entre 500 e 1200 metros de profundidade.

### 3.2.1. CENTRAL GEOTÉRMICA DO PICO VERMELHO

A Central Geotérmica do Pico Vermelho (CGPV) (Figura 3.2) foi a primeira a ser instalada nos Açores como um projecto-piloto de confirmação do potencial geotérmico da zona. Dispõe, por isso, de características próprias para esse tipo de utilização experimental, tendo uma forma compacta e a condição de ser facilmente transportável, [35].

Fig.3.2 – Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho (3 MW – início da utilização da central) [35]

Esta central tinha inicialmente um sistema convencional de produção. O grupo de geradores era inicialmente constituído por uma turbina de vapor de contrapressão, desprovida de sistema de condensação, acoplada a um gerador síncrono. Apesar de a turbina ter uma potência nominal de 3 MW, nunca ultrapassou os 900 KW.

Esta central foi desactivada em 2005, em consequência de estudos desenvolvidos que consideraram o grupo gerador obsoleto e aconselharam a sua substituição.

Foi então elaborado um projecto de remodelação da CGPV que conduziu à construção e montagem de um grupo gerador com uma potência de 10 MW. Esta central começou a ser abastecida por mais poços (Figura 3.3).

Fig.3.3 – Central Geotérmica Piloto do Pico Vermelho (10 MW – depois da remodelação) [35]

A produção atingida em 2007 foi de 98,5 GWh, o que combinada com a produção da Central Geotérmica da Ribeira Grande correspondeu nesse ano a uma contribuição na estrutura de produção da ilha de S. Miguel, de 41%.

### 3.2.2. CENTRAL GEOTÉRMICA DA RIBEIRA GRANDE

A Central Geotérmica da Ribeira Grande (CGRG) (Figura 3.4) possui uma capacidade de geração de 13 MW, instalada em duas fases: [36]

- Fase A – Em 1994 foram construídos dois grupos-geradores duplos (2 x 2,5 MW).
- Fase B – Em 1998 foi instalada uma potência adicional com mais dois grupos turbo-geradores (2 x 4 MW).

Fig.3.4 – Central Geotérmica da Ribeira Grande [35]

Nesta central a opção também recaiu na tecnologia baseada num sistema binário, segundo o ciclo de Rankine, usando um fluido intermédio (norma – pentano) para o qual é transferido o calor do fluido geotérmico em três níveis. Esta central também é abastecida por vários poços de produção e de injecção.

A central está em exploração desde Março de 1994, verificando-se uma elevada estabilidade e continuidade do recurso, complementadas por um bom desempenho do equipamento electromecânico usado.

Relativamente à produção anual, tem-se registado um decréscimo de produção que está relacionado com o declínio natural dos poços geotérmicos, face à exploração, situação que é comum nas centrais geotérmicas. O decréscimo de produção tem sido corrigido pela execução de poços de produção adicionais.

A Figura 3.5 mostra a evolução da produção geotérmica nas duas centrais geotérmicas, [34].

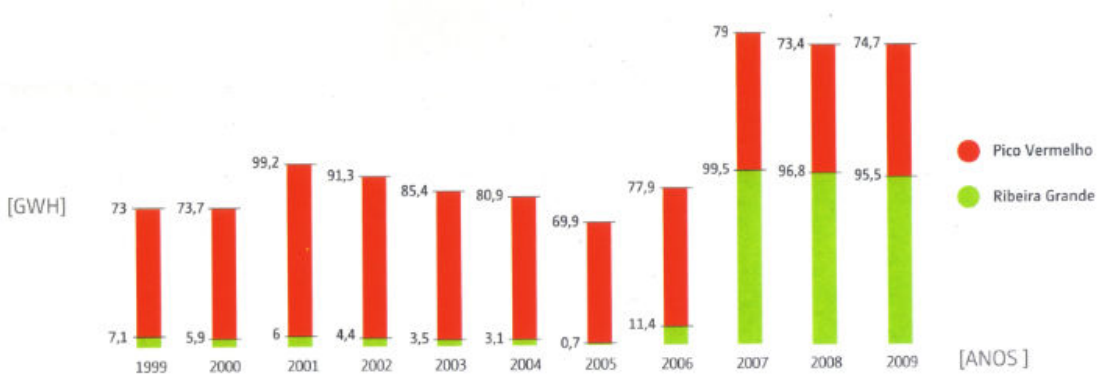


Fig.3.5 – Evolução da produção geotérmica em S. Miguel, Açores [34]

Das duas centrais referidas, a que maior produção apresenta é a CGPV, em consequência da maior abundância de produção de geofluido dos actuais cinco poços de produção que a alimentam. O actual parque de poços de produção desta central disponibiliza um excesso de geofluido que suporta a ideia do estudo da sua expansão.

Como é possível analisar pela figura 3.5, a produção combinada ascendeu em 2009 a 170 GWh, o que contribui na estrutura de produção da Ilha de S. Miguel com uma cota de 38% e no arquipélago com 22%.

No entanto, também é possível analisar o peso das energias renováveis na Ilha de S. Miguel (figura 3.6), [34].

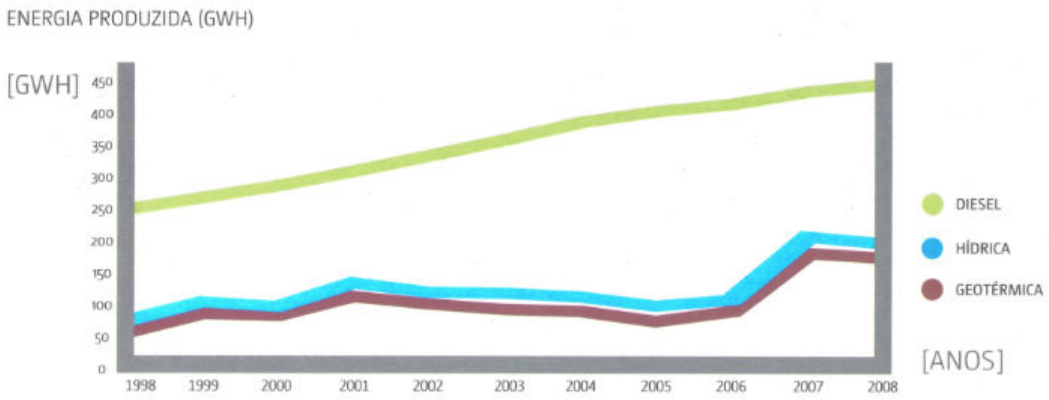


Fig.3.6 – Evolução da contribuição das fontes de energia em S. Miguel, Açores [34]

Pela análise da figura 3.6 é possível afirmar que as fontes de energia hídrica e geotérmica têm um peso muito significativo na produção de energia, representando aproximadamente 46% da sua contribuição para a produção de energia em 2008.

Relativamente às duas fontes de energia renováveis apresentadas, a produção geotérmica apresenta-se em destaque, pelo carácter estável do recurso e o estatuto de potência garantida, proporcionando uma contribuição significativa para a autonomia energética da Região Autónoma dos Açores.

Além dos grandes resultados ambientais decorrentes do uso desta energia, a produção geotérmica é apresentada como um caminho positivo a ser seguido sob o ponto de vista energético, uma vez que diminui a dependência energética do arquipélago, assim se transformando numa mais-valia económica.

Actualmente existem projectos em decurso no arquipélago, prevendo-se que a contribuição geotérmica no ano de 2012 será de 38% da produção.

O preço do petróleo, tendo tendência a subir, leva a uma expansão favorável dos aproveitamentos geotérmicos, tanto a nível nacional como mundial. Além das vantagens económicas e ambientais trazem a autonomia energética das regiões que exploram este recurso.

Devido a todos estes aspectos torna-se pertinente a pesquisa e a identificação de novas áreas geográficas com potencial geotérmico. É importante também que se desenvolvam novos projectos, com vista à satisfação das necessidades energéticas. Por outro lado, estas necessidades energéticas são cada vez maiores e têm grande influência na vida das pessoas pois proporcionam um melhor conforto e qualidade de vida.

## 3.3. APROVEITAMENTOS DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Em Portugal Continental o panorama é completamente diferente do caso dos Açores. Entramos no domínio das baixas entalpias.

Portugal Continental apresenta uma geologia com elevado potencial geotérmico para aplicações a nível da indústria, agricultura e aquecimento urbano, [37].

Este potencial geotérmico pode ser aproveitado por duas vias: [38]

- Aproveitamento de recursos de polos termais existentes com temperaturas entre os 20 e os 76 °C.
- Aproveitamento de calor a partir de aquíferos ou formações geológicas utilizando bombas de calor, através de permutadores instalados no subsolo permitindo utilizações de aquecimento e climatização.

Actualmente estão em funcionamento, desde os anos 80, os aproveitamentos geotérmicos em Chaves e em S. Pedro do Sul. No entanto existem outros polos interessantes, situados em Aregos, Vizela, Monção e Carvalhal, [39].

No caso das bacias sedimentares, foi efectuada no Hospital da Força Aérea no Lumiar (Lisboa) uma operação geotérmica com um único furo, com 1500m de profundidade e a uma temperatura de 50 °C, destinado à produção de água quente sanitária, climatização e água potável fria.

Também foi aproveitado o calor de um furo de 475m de profundidade (30 °C à cabeça do furo) nos Serviços Sociais das Forças Armadas (Oeiras), com o apoio da bomba de calor.

Portugal tem registos históricos da utilização de água quente natural, desde a Colonização Romana, sendo hoje possível identificar grandes vestígios arqueológicos de termas, onde as águas termais eram usadas para a balneoterapia. Muitas destas ocorrências apresentam temperaturas na emergência superior a 20 °C, chegando-se mesmo a atingir temperaturas próximas dos 70 °C.

A utilização da água a elevadas temperaturas, desde já há algum tempo, levou ao seu aproveitamento para outros fins, nomeadamente o aquecimento ambiental.

Há actualmente em Portugal Continental, com as necessidades de exploração das energias alternativas renováveis, uma maior investigação sobre a energia geotérmica.

### 3.3.1. APROVEITAMENTOS DE RECURSOS DE POLOS TERMAIS

Os aproveitamentos geotérmicos na vertente termal são os mais utilizados em Portugal Continental.

Em 1998, o Ex-Instituto Geológico e Mineiro concluiu um estudo sobre os recursos geotérmicos em Portugal sobre as ocorrências de água com temperatura superior a 20 °C, quer naturais, quer provenientes de furos.

Este estudo permitiu fazer uma caracterização geológica-estrutural das ocorrências. Procedeu-se igualmente ao levantamento das temperaturas das emergências, bem como dos respectivos caudais.

É apresentado na Figura 3.7 uma tabela com as emergências termais, a temperatura máxima registada e as características químicas da água.

| NÚMERO | EMERGÊNCIA TERMAL | TEMPERATURA MÁXIMA REGISTADA (ºC) | CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS | NÚMERO | EMERGÊNCIA TERMAL | TEMPERATURA MÁXIMA REGISTADA (ºC | CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Monção | 50 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 27 | Luso | 27 | $SiO_2$, Cl, Na, K |
| 2 | Chaves | 76 | $HCO_3$, Na, F, $CO_2$, | 28 | São Paulo | 23 | $H_2S$, $HCO_3$, Na |
| 3 | Gerês | 47 | $HCO_3$, Na, F, $S_2O_3$ | 29 | Unhais da Serra | 37 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F |
| 4 | Carvalhelhos | 22 | $HCO_3$, Na, F | 30 | Amieira | 27 | Cl, Ca, Na |
| 5 | Caldelas | 33 | $HCO_3$, Ca, F | 31 | Bicanho | 28 | Cl, Ca, Mg, Na |
| 6 | Eirogo | 25 | $H_2S$, Cl, $HCO_3$, Na, F | 32 | Azenha | 29 | Cl, Na |
| 7 | Taipas | 32 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 33 | Monfortinho | 28 | $SiO_2$, Cl, Na, K |
| 8 | S. Miguel das Aves | 22 | $H_2S$, $HCO_3$, Na | 34 | Fonte Quente | 24 | Cl, $HCO_3$, Na |
| 9 | Vizela | 62 | $H_2S$, $HCO_3$, F, Na | 35 | Salgadas | 23 | Cl, Na |
| 10 | Saúde | 30 | $H_2S$, Cl, Na, F | 36 | Envendos | 22 | $SiO_2$, Cl, Na, K |
| 11 | Carlão | 29 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 37 | Piedade | 27 | Cl, $HCO_3$, Na |
| 12 | São Lourenço | 30 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, K | 38 | Salir | 20 | Cl, Na |
| 13 | Canavezes | 35 | $H_2S$, F, $HCO_3$, Na | 39 | Caldas da Rainha | 36 | $H_2S$, Cl, $SO_4$, Na, Ca, Mg |
| 14 | Moledo | 45 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 40 | Arrábidos | 29 | $H_2S$, Cl, Na |
| 15 | Fonte Sta. do Seixo | 21 | $H_2S$, $HCO_3$, Na | 41 | Vimeiro | 26 | $HCO_3$, Cl, Na, Ca |
| 16 | Aregos | 62 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 42 | Cucos | 40 | Cl, Na, F |
| 17 | Longroiva | 34 | $H_2S$, $HCO_3$, Na | 43 | Alcaçarias | 30 | Cl, Na |
| 18 | S. Jorge | 23 | $H_2S$, Cl, Na | 44 | Hosp. Força Aérea | 50 | $HCO_3$, Ca, Mg |
| 19 | Carvalhal | 41 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 45 | Oeiras - S.S.F.A. | 30 | $HCO_3$, Na |
| 20 | Cavaca | 29 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 46 | Estoril | 35 | Cl, Na |
| 21 | S. Pedro do Sul | 69 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 47 | Santa Comba | 22 | $HCO_3$, Ca |
| 22 | Alcafache | 51 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 48 | Malhada Quente | 28 | $HCO_3$, Na, $SO_4$ |
| 23 | Sangemil | 50 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 49 | Alferce | 27 | $HCO_3$, Na, |
| 24 | Cró | 23 | $H_2S$, $HCO_3$, Na | 50 | Monchique | 32 | $HCO_3$, Na, F |
| 25 | Felgueira | 36 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 51 | Santo António | 25 | $HCO_3$, Ca |
| 26 | Manteigas | 48 | $H_2S$, $HCO_3$, Na, F | 52 | Fte. Sta de Quarteira | 21 | $HCO_3$, Na, Ca, Mg |

Fig.3.7 – Emergências termais, temperatura máxima e características da água [40]

Estas nascentes encontram-se distribuídas pelo território nacional (figura 3.8). Contudo, a norte verifica-se uma predominância justificada pelo facto de Portugal Continental se encontrar dividido em grandes zonas, cujas características geológicas e estruturais diferem significativamente.

Em Portugal as captações termais devem.se essencilamente a acidentes tectónicos ou falhas activas que favorecem a rápida circulação ascendente dos fluidos, constituindo anomalias geotérmicas locais que sobressaem dos valores regionais de gradiente geotérmico. Este modelo de circulação ascendente, complementado com a natureza das formações geológicas atravessadas, constituem os factores fundamentais para a caracterização do fluido geotérmico, [41].

As águas termais ocorrem nas mais diversas composições químicas:

- Bicarbonatadas (21%)
- Cloretadas (21%)
- Sulfúreas (50%)
- Gasocarbónicas (2%)

No Maciço Hespérico ocorrem as águas bicarbonatadas, cloretadas mas na maior parte é constituída por águas sulfúreas, que apresenta elevadores valores de pH (>8). Na Orla Meso-Cenozóica Ocidental das águas emergentes predominam as cloretadas/bicarbonatadas sódicas, mas encontram-se alguns casos de águas sulfatadas cálcicas, com pH (~7).

Na Figura 3.8 são apresentadas as ocorrências termais – temperatura em Portugal Continental.

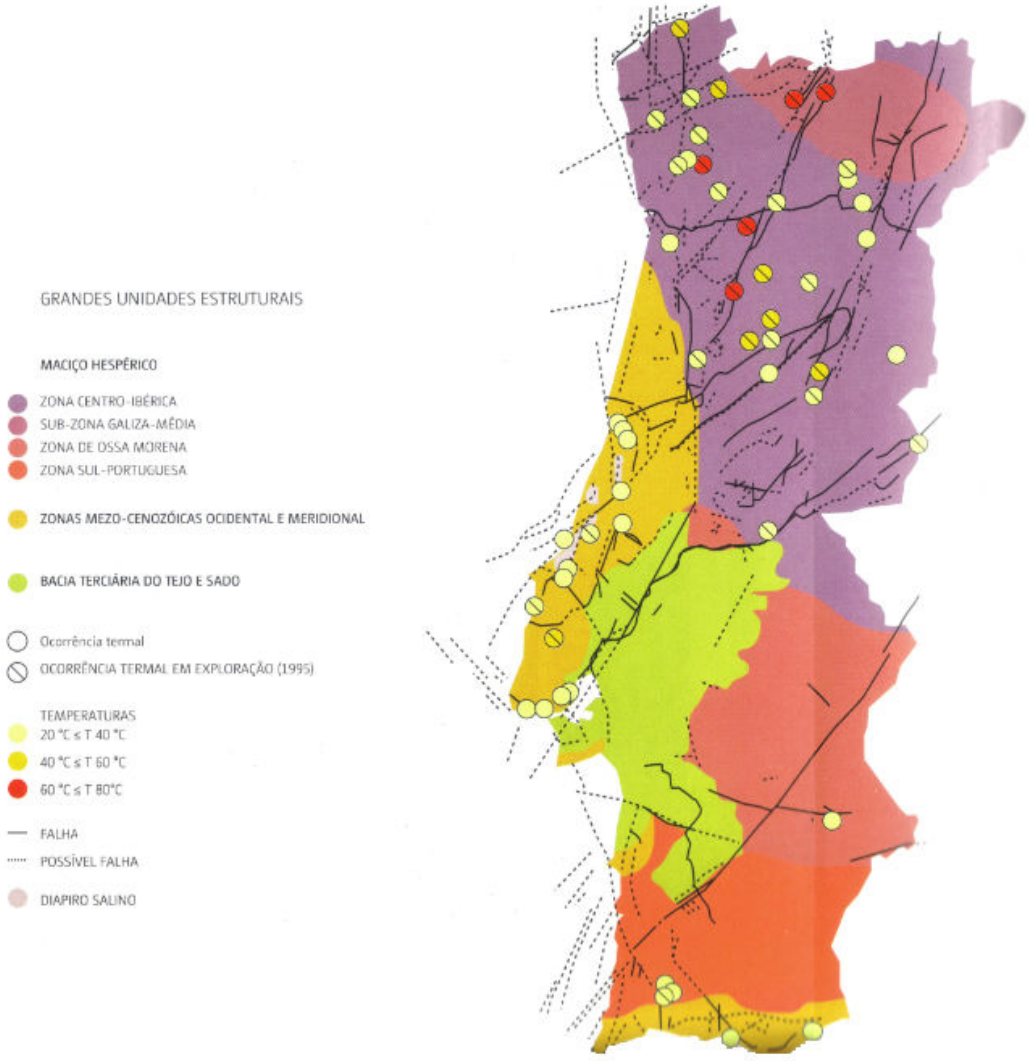


Fig.3.8 – Ocorrências termais em Portugal Continental [41]

### 3.3.2. Aproveitamento de Calor a partir de Aquíferos ou Formações Rochosas Utilizando Bombas de Calor e Permutadores Instalados no Solo

No futuro, Portugal Continental apostará na aplicação de Bombas de Calor Geotérmicas. Estas aproveitam o calor de aquíferos ou de formações geológicas através de permutadores instalados no subsolo, permitindo a sua utilização para acções de climatização (aquecimento e arrefecimento), aquecimento de águas sanitárias e piscinas, [38].

Este tipo de aplicação já começa a ser usado em alguns edifícios.

O objectivo desta dissertação é precisamente analisar este tipo de aplicação nos edifícios, identificando quais os tipos existentes e avaliando as respectivas implicações tecnológicas construtivas.

A energia é captada do solo junto aos edifícios ou habitações mediante um gerador termodinâmico, sendo conduzida para o interior do espaço sob a forma de aquecimento ou arrefecimento do ambiente, aquecimento de águas sanitárias e/ou aquecimento de piscina. As calorias geotérmicas são

absolutamente gratuitas o que traduz uma redução drástica dos consumos energéticos associados à produção de energia calorífica, os quais constituem a grande fatia das despesas mensais de um edifício, [42].

Esta tecnologia permite efectuar o aquecimento e arrefecimento pela extracção da energia da Terra. Esta energia é inesgotável devido à regeneração constante da Terra exercida pelos efeitos do Sol, da chuva e do próprio calor interno da crosta terrestre.

A 20 metros de profundidade, a temperatura do subsolo é constante, da ordem dos 8 a 12 °C e não depende do dia nem da noite nem sequer das estações do ano. A partir dos 20 metros a temperatura aumenta 1°C por cada 33 metros a mais, [43].

A geotermia é a forma mais recente em Portugal de climatizar os edifícios (aquecer e arrefecer) e de produzir as AQS. É uma energia do futuro e inesgotável, que não necessita de ser armazenada.

As bombas de calor geotérmicas são equipamentos que aproveitam e transferem calor, armazenado a poucos metros de profundidade da terra e que permitem a sua utilização para as AQS e a climatização dos edifícios.

Nas estações frias o calor armazenado no solo é recuperado através de um sistema de tubos subterrâneos, localizados perto da bomba de calor. Nas estações quentes o procedimento é inverso, sendo o calor transferido e dissipado no solo, [44].

A bomba de calor funciona a electricidade, não necessitando de outra fonte de energia como combustíveis fósseis, e não libertando gases resultantes de queima (nomeadamente o $CO_2$).

O uso desta tecnologia nos edifícios obriga a pensar na construção do edifício de outra forma e um dos objectivos desta dissertação tem esse propósito: o da análise da geotermia nos edifícios (usando bomba de calor geotérmica) e as suas implicações na tecnologia da construção.

# 4
# GEOTERMIA NOS EDIFÍCIOS

## 4.1. ESTADO DA ARTE

A melhoria do desempenho de um edifício, em termos de conforto térmico, pode ser alcançada com aplicação de várias tecnologias que fazem o aproveitamento das energias renováveis. O aquecimento e arrefecimento ambiente e o aquecimento das águas sanitárias (AQS) podem ser feitos com a geotermia e a energia solar (entre outras), sendo o sistema ideal do ponto de vista energético, a conjugação de ambas. No entanto, esta solução torna-se demasiado cara, [45].

É importante salientar que o uso correcto dos processos construtivos e a aplicação adequada do isolamento térmico permitem reduzir a dimensão e simplificar os sistemas de climatização e de produção de águas quentes sanitárias. No entanto, independentemente dos sistemas construtivos usados num edifício e o tipo de aplicação de isolamento térmico, o sistema de climatização e de AQS são cada vez mais importantes por questões de conforto e considerações energéticas.

As pessoas são cada vez mais exigentes sob o ponto de vista de conforto térmico, mesmo havendo uma parte da sociedade sem recursos para este tipo de exigências. Por outro lado a outra parte dá mais valor àquele conforto.

Nesta dissertação vai abordar-se o caso da geotermia nos edifícios, aplicando aquela tecnologia ao aquecimento e ao arrefecimento ambiente e conjugando com a necessidade do aquecimento das águas sanitárias.

A aplicação desta tecnologia nos edifícios tem implicações construtivas. Neste trabalho também serão abordadas quais essas implicações.

As grandes vantagens de um aproveitamento geotérmico aplicado aos edifícios são: [46]

- Uma fonte de calor gratuita e em grande medida independente do clima e da estação do ano, que se regenera permanentemente a partir do calor interior da Terra e da radiação solar;
- Redução considerável das emissões de $CO_2$;
- Economia energética no arrefecimento e aquecimento ambiente e na produção de AQS;
- Possibilidade de aquecimento e arrefecimento com uma única instalação, através do uso do pavimento radiante e ventiloconvectores;
- Em combinação com um sistema solar, existe a possibilidade de armazenar o calor na Terra;

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento, que aproveitam esta fonte de energia, utilizam normalmente um sistema de captação e três componentes que visam tornar mais eficiente a sua aplicação. Esses componentes são uma bomba de calor geotérmica, o pavimento radiante e os ventiloconvectores.

## 4.2. INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA GEOTÉRMICO

A base da instalação de um sistema geotérmico num edifício, para a climatização ambiente e AQS passa principalmente por quatro campos (apresentados na Figura 4.1: a análise térmica do edifício, o tipo de captação, a escolha da bomba de calor geotérmica e dos sistemas de distribuição).

Térmica do Edifício
Tipo de captação
Sistema Geotérmico de um Edifício
Bomba de Calor Geotérmica
Sistema de Distribuição (pavimento radiante, etc.)

Fig.4.1 – Base de instalação de um Sistema Geotérmico num Edifício

O processo de instalação de um sistema geotérmico começa por ter que saber o motivo pelo qual se escolhe este sistema para fazer a climatização do edifício e/ou AQS, quais os componentes existentes e qual o funcionamento do sistema.

Os grandes motivos para a escolha de um sistema geotérmico são os económicos e os ambientais.

É também de suma importância proceder-se à análise do edifício, tendo em conta os seguintes aspectos: [47]

- Localização do edifício
- Superfície do edifício a climatizar
- Potência necessária
- Necessidades de AQS
- Temperatura de conforto
- Sistemas de distribuição

### 4.2.1. LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Os aspectos relativos à localização que têm que ser analisados são o local da implantação do edifício e começar a definir, em função do espaço existente, o tipo de captação a utilizar. Essa pode ser captação

vertical (é preciso verificar a existência ou não de obstáculos no subsolo), captação horizontal (nesse caso é necessário verificar a existência de superfície disponível) ou captação em nível freático (será necessário verificar se existem aquíferos, rios ou lagos).

#### 4.2.2. SUPERFÍCIE DO EDIFÍCIO A CLIMATIZAR

É também necessário definir quais são as zonas do edifício a climatizar, descriminando as que são para aquecer e arrefecer, assim como, definir quais as zonas que não necessitam de ser climatizadas.

#### 4.2.3. POTÊNCIA NECESSÁRIA

É necessário ter nesta fase um estudo térmico do edifício, de modo a saber quais são as necessidades do edifício em termos de aquecimento, arrefecimento e AQS e, com estes valores obter o índice $W/m^2$ necessário para o estudo.

Com aquele valor retirado do projecto térmico, já é possível fazer uma escolha da bomba de calor geotérmica a utilizar.

#### 4.2.4. NECESSIDADES DE AQS

Para o cálculo das necessidades de AQS é preciso saber o número de pessoas que vão ocupar o edifício, o número de casas de banho e se existem outros equipamentos (como banheiras com hidromassagens ou jacúzis). Normalmente estes valores vêm mencionados no projecto de térmica do edifício.

O cálculo das necessidades de AQS é feito em conjugação com o painel solar, tirando vantagens da conjugação dos dois sistemas em funcionamento, o geotérmico com o solar.

#### 4.2.5. TEMPERATURA DE CONFORTO

É preciso estabelecer qual a temperatura de conforto no interior do edifício. A temperatura recomendada é de 20 a 22 °C no Inverno e de 24 °C no Verão para uma humidade relativa do ar na ordem dos 50 %.

#### 4.2.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

É importante procurar a melhor solução do sistema de distribuição para o aquecimento e arrefecimento. Existem alguns sistemas possíveis, como o pavimento radiante e os ventiloconvectores, sendo estes os mais indicados para uma melhor eficiência do sistema geotérmico.

### 4.3. ENQUADRAMENTO DE UM SISTEMA GEOTÉRMICO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Actualmente no RCCTE já se encontram estipuladas as exigências para se utilizar uma fonte de energia renovável que forneça parte das necessidades de aquecimento das águas sanitárias.

Este regulamento está preparado para se contabilizar a energia solar térmica fornecida a partir de colectores solares. A área mínima estipulada de colectores solares instalados, de modo a contribuir para o aquecimento das águas quentes sanitárias ($E_{solar}$) é de 1 $m^2$ de colector por ocupante.

Para se poderem contabilizar estes colectores no cálculo do RCCTE é necessário que tenham alguns requisitos que permitam assegurar a qualidade dos equipamentos, da sua instalação e a manutenção dos sistemas, [48].

Um aspecto importante a salientar sobre o cálculo do RCCTE é a possibilidade de se usar outro tipo de energias renováveis em alternativa à energia solar. No entanto, estas tecnologias/sistemas energéticos e renováveis, como por exemplo a energia geotérmica e fotovoltaica, que captem a energia numa base anual, deverão ter uma equivalência à dos colectores solares.

Para se verificar se a energia captada por outros sistemas renováveis é equivalente à dos colectores solares, numa base anual, pode ser utilizado o programa Solterm [49] para a determinação do $E_{ren}$, [50].

Existem vários programas para o dimensionamento de sondas geotérmicas, como é o caso do EED-Earth Energy Designer, que permitem contabilizar a energia mínima e máxima a retirar do solo, consoante o tipo de solo, o número de furos, o distanciamento entre eles e as necessidades térmicas pretendidas para cada caso de estudo, [51].

Ao contabilizar-se estas necessidades é possível compará-las com o $E_{solar}$ obtido pelo Solterm e verificar se esta pode ser implementada como energia renovável.

### 4.4. IMPLICAÇÕES CONSTRUTIVAS

A aplicação de um sistema geotérmico num edifício requer algumas implicações construtivas. Um edifício incorporado com um sistema geotérmico é diferente de um edifício corrente.

As implicações construtivas nos edifícios com o uso desta tecnologia ocorrem ao nível das seguintes áreas:

- Sistema Construtivo
- Captação
- Zona Técnica
- Sistemas de Distribuição

É possível ver na Figura 4.2 um esquema representativo dos locais do edifício onde o uso desta tecnologia tem um grande peso na construção do edifício.

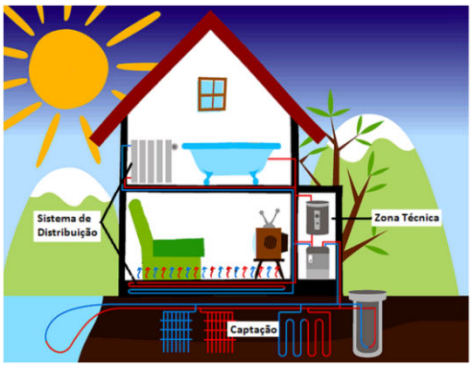


Fig.4.2 – Base de instalação de um Sistema Geotérmico num Edifício

### 4.4.1. SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema construtivo é a implicação mais importante ao usar este tipo de tecnologia. Usar a fonte de energia renovável geotermia para fazer a climatização de um edifício implica que o edifício tenha sido projectado com cuidados referentes às soluções construtivas e à sua implantação.

Esta área tem particular interesse porque neste tipo de tecnologia são usados sistemas de distribuição. Para o seu funcionamento ser eficaz é exigido um bom sistema construtivo.

Os cuidados a ter no sistema construtivo que, engloba a implantação e a solução construtiva do edifício, são apresentados nos próximos parágrafos.

#### 4.4.1.1. Implantação

A envolvente, a forma e a orientação de um edifício são observações estruturais importantes a ter em conta na climatização.

Estas três observações são conjugadas de modo a obter os seguintes resultados:

- Evitar perdas térmicas desnecessárias;
- Maximizar as janelas viradas a sul, beneficiando dos ganhos solares durante mais tempo no Inverno (devido à menor inclinação do sol e minimizando-os no Verão);
- Evitar obstáculos fixos que provoquem sombreamento durante todo o ano, prejudicando os ganhos solares no Inverno e iluminação natural;

#### 4.4.1.2. Solução Construtiva

As soluções construtivas têm efeitos directos na construção do edifício e a sua importância passa pelo tipo de materiais usados e modo como são aplicados.

Serão apresentados os aspectos mais importantes desta análise e que têm um peso significativo no resultado final no uso desta tecnologia:

- Tipo de isolamento térmico e o modo como é aplicado;
- Tipo de janelas a usar, dando importância ao tipo de caixilharia, ao tipo de vidro e à protecção exterior;
- Tipo de ventilação usada, evitando um edifício 100% estanque, mas sim com uma adequada circulação e renovação de ar que permita ter bons níveis de qualidade do ar interior e que evite condensações;

### 4.4.2. CAPTAÇÃO

O tipo de captação geotérmica a usar na aplicação desta tecnologia influencia e tem implicações nas soluções construtivas dos edifícios. O uso de um sistema geotérmico num edifício implica ter a quantidade de solo necessária, quer em superfície como em profundidade, consoante o tipo de captação.

Fazer um furo para aplicar sondas geotérmicas ou abrir valas para colocar colectores geotérmicos são implicações construtivas. Sem esta tarefa não é possível aplicar esta tecnologia.

#### 4.4.3. ZONA TÉCNICA

A zona técnica é uma divisão do edifício que tem que ser pensada na fase inicial da elaboração do projecto de arquitectura.

Esta divisão tem a particularidade de ser chamada "casa das máquinas", pois é o local onde ficam todos os componentes do sistema geotérmico, como a bomba de calor geotérmica, o depósito de AQS e de inércia, controladores, tubos e todos os outros componentes necessários. O tamanho da casa das máquinas não tem uma área mínima regulamentar, no entanto convém ter uma área desejável para o equipamento necessário e para qualquer tipo de manutenção que seja preciso.

A bomba de calor geotérmica é um equipamento que por muito evoluído que seja faz sempre algum ruído. Por este motivo e por uma questão de organização espacial das divisões do edifício, é recomendável que a zona técnica não fique em contacto com as divisões mais delicadas, como quartos ou sala. Quando não é possível colocar este local nestas condições é recomendável um reforço de isolamento acústico.

Um aspecto importante a salientar sobre esta zona é a sua localização quando não existe possibilidade de a colocar dentro do próprio edifício. Neste caso a melhor solução (e muitas vezes utilizada) é fazer uma zona técnica subterrânea. Quando se opta por uma solução destas é necessário ter alguns cuidados com o espaço – contabilizar uma área desejável e acessos seguros para qualquer tipo de manutenção necessária.

#### 4.4.4. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição mais usuais são o pavimento radiante e os ventiloconvectores. O uso destes sistemas de distribuição tem várias implicações construtivas num edifício.

A aplicação do pavimento radiante e o pavimento posterior têm métodos construtivos próprios que diferem de um edifício corrente. No caso de se usarem ventiloconvectores é preciso notar das necessidades características próprias de colocação.

O uso destes sistemas de distribuição necessita de uma rede de tubos própria e de acessórios auxiliares que fazem o edifício ter alguns pormenores específicos.

Estas implicações construtivas apresentadas estão inteiramente interligadas no sistema geotérmico para a climatização ambiente e AQS de um edifício.

Cada uma delas tem pormenores específicos de análise e que serão abordados nesta dissertação.

Será feita uma análise dos tipos de captação existentes, dando enfâse aos dois casos mais usados em Portugal. Abordar-se-ão os equipamentos existentes na zona técnica e os sistemas de distribuição mais usados, fazendo uma análise total de um sistema geotérmico para as finalidades já enunciadas.

### 4.5. TIPOS DE CAPTAÇÃO

Os sistemas geotérmicos aplicados na climatização e AQS diferem do tipo de captação energética. Cada tipo de captação tem um processo construtivo e dimensionamento distinto.

Quando se opta por um sistema geotérmico o esquema geral do sistema tem o aspecto da Figura 4.3, [52].

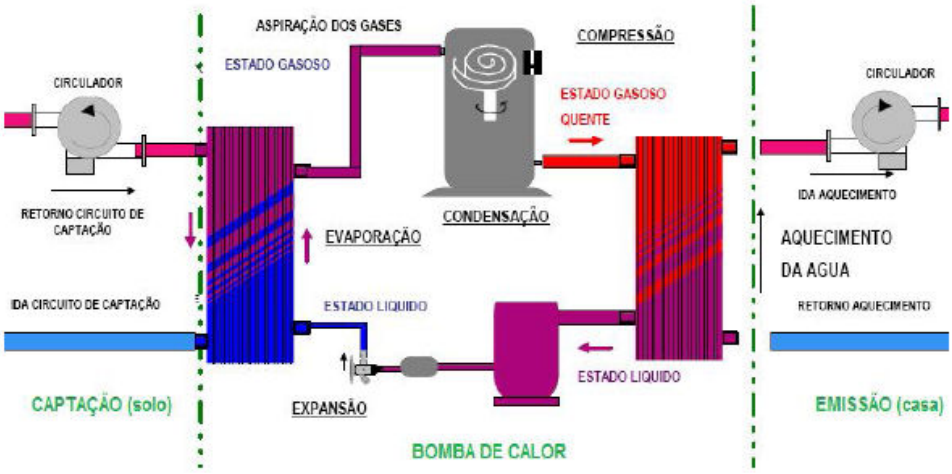


Fig.4.3 – Esquema de captação de energia no solo e a sua emissão para o interior do edifício (Geotermia de Portugal, 2008)

Este esquema está inteiramente ligado à figura anterior, onde a captação é feita normalmente no exterior do edifício; a bomba de calor está na zona técnica e a emissão corresponde aos sistemas de distribuição.

Os vários sistemas geotérmicos existentes são distinguidos principalmente pelo seu tipo de captação. A jusante da captação, para qualquer tipo de captação, o sistema apresenta sempre o mesmo esquema, tendo uma bomba de calor e os sistemas de distribuição (piso radiante e ventiloconvectores).

Neste parágrafo serão apresentados os tipos de captação existentes e quais as suas características.

As trocas de calor com o solo, feitas a partir de bombas de calor, podem ser classificadas por dois sistemas existentes, os sistemas abertos e os sistemas fechados, [53].

### 4.5.1. Sistema Aberto

Nos sistemas abertos utiliza-se a água subterrânea como transportadora de calor e esta é elevada directamente à bomba de calor. Este sistema é mais conhecido por captação em lençol freático.

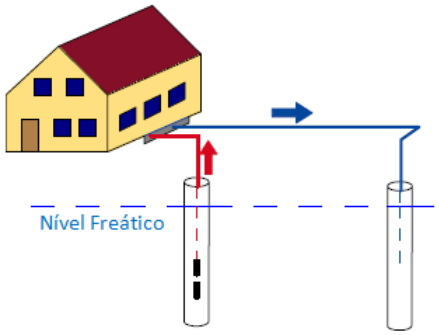


Fig.4.4 – Sistema aberto [53]

Este tipo de sistema utiliza poços de água subterrânea ou perfuração (mais conhecidos por aquíferos), para captar energia. A água do lençol freático mantém-se a uma temperatura constante todo o ano, variando entre os 9 e 12 °C, consoante a região, e é necessário que seja garantida durante o ano todo.

A utilização deste sistema requer alguma manutenção e, para serem rentáveis, têm que obedecer a alguns requisitos. O solo convém ter permeabilidade suficiente, de modo a obter a quantidade de água subterrânea desejada e a pouca profundidade (entre 8 a 50 metros, consoante a região). A qualidade da água tem que ter boas características químicas, como por exemplo, ter baixo teor em ferro, para evitar problemas de corrosão.

Quando se opta pela exploração destas instalações, ou seja, extracção e escoamento de águas subterrâneas, é necessário que sejam pedidas e obtidas as devidas autorizações. As linhas de água subterrâneas ocupam uma grande área e em quase todos os casos pertencem a vários lotes, não só o nosso, e podem estar a ser usadas para alguma finalidade, o que leva a ter algumas regras de uso.

Existem alguns cuidados importantes a ter em conta antes de se proceder à execução do projecto, quando se opta por este tipo de captação.

a) Consultar mapas geológicos da zona ou outros documentos inerentes às características locais específicas do lençol freático.

b) Devem ser feitas perfurações e testes de bombeamento, especialmente para determinar:

   - Profundidade do lençol freático
   - Estabilidade do nível
   - Direcção e sentido do fluxo
   - Qualidade da água
   - Caudal existente

c) Analisar a ocorrência de infiltrações de águas superficiais – estas podem baixar a temperatura de alimentação da bomba de calor e diminuir os rendimentos previstos.

A análise da qualidade da água é um cuidado muito importante a ter e existem factores que definem a qualidade da água pela análise de certos valores. Esses factores são a temperatura, o valor do PH, a condutibilidade, os limites de ferro, manganésio, nitrato, sulfato e outros.

Se a água ultrapassar os limites indicados de ferro e manganésio, podem vir a formar-se compostos insolúveis capazes de obstruir quer os poços, quer os permutadores. Os compostos de ferro e manganésio têm tendência a aparecer sob a forma de oxigénio na zona onde a água é devolvida ao nível freático. É por este motivo que é aconselhável que os tubos que conduzem a água para o lençol freático, devam ficar submersos, pelo menos 50 a 60 cm abaixo do nível.

Um outro limite a ter consequências negativas é o valor do PH. Se o valor for demasiado alto proporciona a agressividade do sulfato e dos compostos de cloros, e estes podem corroer as placas dos permutadores da bomba de calor. Neste caso é importante saber quais os limites de PH a que a bomba de calor está preparada para trabalhar. No caso de se ultrapassar os limites é aconselhável colocar, a montante da bomba de calor, permutadores em aço inox, pois ajuda a proteger os permutadores internos, simplificando as operações de limpeza e a possível substituição de placas.

Sob o ponto de vista da sustentabilidade, usar a água subterrânea para as diversas finalidades já apresentadas, não traz qualquer tipo de problema, pois esta quando passa pela bomba de calor não perde as suas propriedades (apenas é utilizada a sua energia – temperatura). A água quando passa pela bomba de calor é filtrada e depois é restituída em diversos locais, podendo fazer-se o seu aproveitamento para outros fins.

Este tipo de captação pode ser dividido em dois subtipos [54]:

- Sistema de Captação com dois poços
- Sistema de Captação com um só poço

#### 4.5.1.1. Sistema de Captação com dois poços

O sistema de captação com dois poços tem o aspecto da Figura 4.5, seguinte.

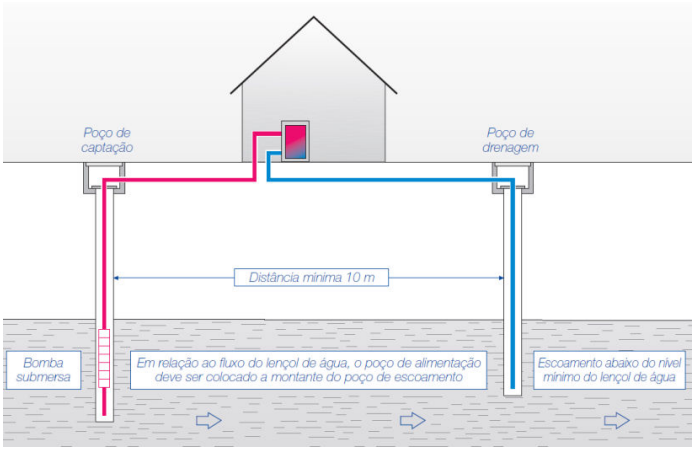
Poço de captação
Poço de drenagem
Distância mínima 10 m
Bomba submersa
Em relação ao fluxo do lençol de água, o poço de alimentação deve ser colocado a montante do poço de escoamento
Escoamento abaixo do nível mínimo do lençol de água

Fig.4.5 – Sistema de Captação com dois poços [54]

Normalmente são usados poços duplos, um para extrair (poço de captação) a água subterrânea (lençol aquífero) e outro para devolver essa mesma água extraída (chamado poço de drenagem).

Na construção destes poços e para a ligação à bomba de calor, é necessário haver uma distância mínima de 10 metros entres os poços de captação e o de drenagem.

Um outro aspecto a ter em conta relativamente ao fluxo do lençol de água, é que o poço de captação deve ser colocado a montante relativamente ao poço de drenagem, para evitar a interrupção de água introduzida.

#### 4.5.1.2. Sistema de Captação com um só poço

Este sistema como o nome indica só tem um poço de captação. A água usada é depois escoada para diversos locais, como por exemplo, rios, charcos, lagos e mar, como é possível ver na figura seguinte.

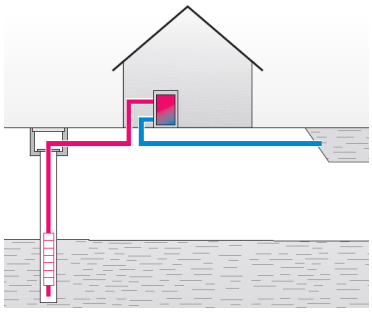

Fig.4.6 – Sistema de Captação com um só poço [54]

A água usada também pode ser escoada para sistemas de recolha de águas pluviais (Figura 4.7).

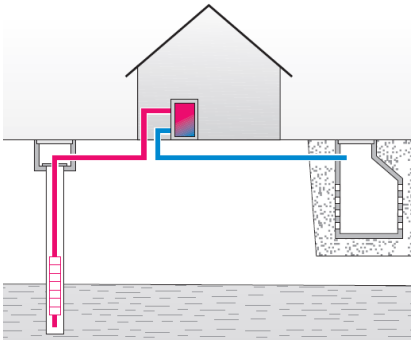

Fig.4.7 – Sistema de Captação com um só poço (águas pluviais) [54]

No caso de a drenagem da água ser feita em sistemas de recolha de águas pluviais, é necessário haver uma autorização específica para este caso. Relativamente ao fluxo do lençol de água, o sistema de dispersão deve ser colocado a jusante do poço de captação, para evitar o arrefecimento contínuo da água do lençol aquífero.

Normalmente só se usam estes sistemas de captação em casos específicos e de análise particular. Em Portugal não é muito usual utilizar este tipo de sistema.

O sistema mais usado em Portugal é o sistema fechado, que funciona de maneira diferente do anterior e que é explicado no próximo parágrafo.

### 4.5.2. SISTEMA FECHADO

Neste caso existe um circuito fechado, constituído por tubos (colectores e sondas) e dentro destes circula um fluido, normalmente água glicolada, que é responsável pelo transporte de calor do terreno para a bomba de calor e vice-versa. É importante salientar que no uso deste sistema não há contacto de água subterrânea com a bomba de calor – aqui, somente se transfere calor do solo ou de águas subterrâneas para a bomba de calor, [53].

No Inverno, a água glicolada transporta o calor da Terra para o grupo geotérmico e este eleva-lhe a temperatura e aquece as habitações e as águas sanitárias.

No caso do Verão, como a temperatura do subsolo é inferior à do ar, consegue-se arrefecer as habitações por um processo passivo ou activo, consoante a bomba de calor, [55].

Nos sistemas fechados existem várias formas de captação de calor.

Os tipos de captação existentes são:

- Captação Horizontal
- Captação Vertical
- Captação Mista

Nesta dissertação serão abordados em detalhe a captação horizontal e um caso da captação vertical, pois são os tipos mais usados em Portugal.

#### 4.5.2.1. Captação Horizontal

A Captação Horizontal é a mais corrente e a mais barata, sendo feita sempre que haja uma área de terreno suficiente. Este tipo de captação requer de 1,5 a 2 vezes a área para dispersão / captação de calor relativamente ao espaço que se pretende climatizar.

Na Figura 4.8 pode ser vista a implantação duma captação horizontal.

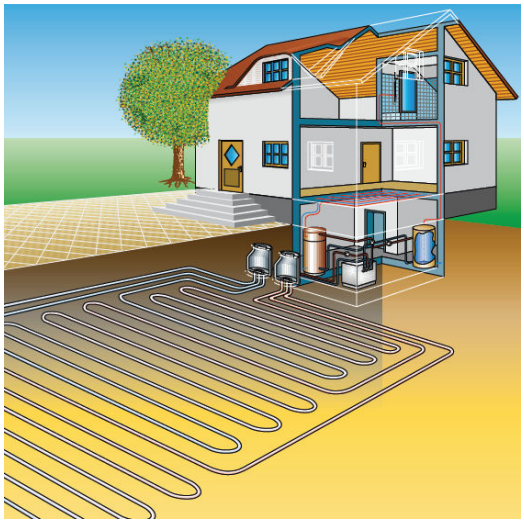

Fig.4.8 – Captação Horizontal [56]

Este tipo de instalações utiliza o calor que se encontra acumulado nas camadas mais superficiais da terra. Este calor pode ser obtido até uma profundidade de 5 metros, onde as temperaturas variam entre os 8 e os 13 °C como é possível observar pela Figura 4.9, [54].

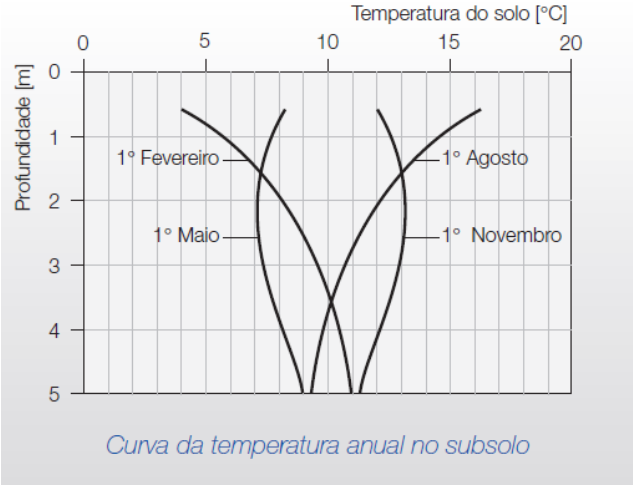


Fig.4.9 – Captação Horizontal [54]

A Figura 5.9 é referente a um gráfico que mostra a temperatura em função dos primeiros 5 metros de profundidade e para cada estação do ano. Este gráfico é parte de um outro que está referenciado no parágrafo 4.6.2., relativamente ao dimensionamento dos tipos de captação.

Devido à variação de temperaturas que se encontram a 5 metros de profundidade opta-se pela captação horizontal, pois a temperatura não é constante a poucos metros de profundidade (o que não acontece a 100 metros na captação vertical).

Os tubos, mais conhecidos por colectores geotérmicos, são colocados horizontalmente à superfície, em valas e em circuito fechado, onde a profundidade varia entre os 1,2 e 1,5 metros e a distância entre tubos varia entre 0,5 e 0,8 metros, conforme a sua orientação geográfica (Figura 4.10), [57].

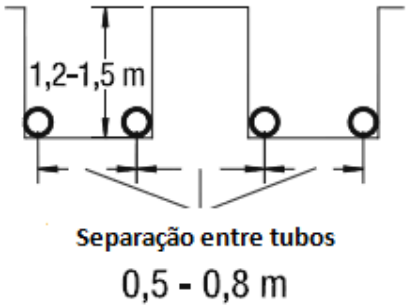


Fig.4.10 – Profundidade e distância entre tubos [57]

Dentro destes tubos circula um fluxo de água glicolada (água com glicol). O calor passa da terra para a água, que circula dentro dos colectores, e para que esta não congele junta-se-lhe um líquido anticongelante (glicol) – daí o nome de água glicolada.

O calor que se encontra acumulado nas camadas superficiais deriva do sol e da chuva, logo, é necessário colocar os colectores em zonas onde possa chegar sem qualquer impedimento, o calor proveniente do sol e da chuva. Por este motivo não se deve cobrir a zona onde estão colocados os colectores com construções (garagens, edifícios, pré-fabricados, etc.) nem com pavimentos impermeabilizados ou terraços.

Este tipo de condições leva a uma observação prática e pertinente. Por vezes existe espaço suficiente para a implementação deste tipo de captação mas o terreno existente não cumpre as condições em cima referidas, o que condiciona a aplicação.

A disposição dos colectores tem de respeitar distâncias mínimas:

- 2,0 metros das zonas de sombra causadas por edifícios em redor, muros, árvores, sebes ou outros obstáculos;
- 1,5 metros das redes das instalações enterradas de tipo não hidráulico (redes eléctricas, de telefone e de gás);
- 2,0 metros das redes das instalações enterradas de tipo hidráulico (redes de água sanitária, de água de esgoto e de águas pluviais);
- 3,0 metros das fundações, poços de água, fossas sépticas e poços de escoamento;

O uso deste tipo de captação não altera as condições do solo, podendo-se jardinar, colocar relvados e arbustos à superfície (desde que não se criem zonas de sombra significativas e sempre com um profundidade mínima de 1,5 metros).

Um aspecto importante a salientar é que os colectores geotérmicos podem ser colocados em camadas sobrepostas, consoante o dimensionamento. Isto leva a uma menor área de ocupação do terreno em superfície mas maior em profundidade.

As exigências de rendimento para o arrefecimento são moderadas, excepto quando existe um escoamento superficial no local. Várias empresas e críticos do assunto não recomendam este sistema para o caso de ser adoptado arrefecimento passivo.

#### 4.4.2.2. Captação Vertical

A captação vertical, ao contrário da captação horizontal, permite explorar ao mínimo o terreno à volta do edifício.

É possível dividir a captação vertical em dois subtipos de captação que são feitos em diferentes circunstâncias e que serão apresentados nesta dissertação.

Os dois tipos de captação existentes na captação vertical são:

- Captação Vertical por Sondas Geotérmicas
- Captação Vertical por Pilares Geotérmicos

#### 4.5.2.2.1. Captação Vertical por Sondas Geotérmicas

Como é possível observar pela Figura 4.11 o modo de captação de energia é feito sob o alinhamento vertical.

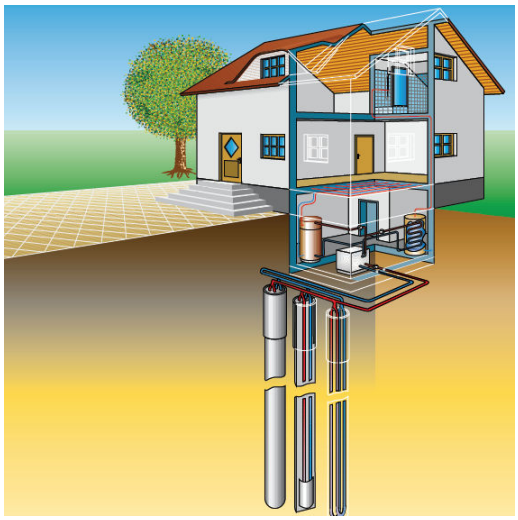

Fig.4.11 – Captação Vertical por Sondas Geotérmicas [56]

Este tipo de captação é mais usado quando existem limitações ao nível de espaço nas áreas envolventes, onde a captação energética é feita em profundidade pela abertura de furos que variam entre os 20 e 200 metros, dependendo do tipo de solo e da potência térmica necessária. O diâmetro das sondas utilizadas neste tipo de captação são normalmente de 32 ou 40 milímetros.

Para a extracção da energia da terra é usada uma sonda geotérmica vertical, constituída por tubos sob pressão nos quais circula água glicolada a uma temperatura mais baixa que a do solo.

As sondas devem ser aplicadas a uma distância mínima de 5 metros dos edifícios para não causar danos nas fundações.

No caso de haver mais do que uma sonda, é necessário prever uma distância mínima de 8 metros entre as mesmas para evitar interferências térmicas, isto é, para evitar que as sondas retirem calor umas das outras; isto levaria à diminuição do rendimento térmico global.

O uso deste tipo de captação permite explorar ao mínimo a superfície do espaço existente à volta do edifício e tem a vantagem de obter uma gama de temperaturas mais estabilizadas.

Um sistema de climatização com este tipo de captação é o mais caro – os furos existentes normalmente representam um terço do custo total da aplicação. Apesar de ser o mais caro é o que dá mais garantias e o que tem melhores comportamentos (económico / conforto térmico). Quando se pretende grande capacidade para arrefecimento e aquecimento, é preferível usar este tipo de captação, devido à grande inércia do terreno.

O rendimento do sistema não é influenciado pelas características do solo nem pela exposição solar, sendo a temperatura anual constante para a profundidade estudada.

A grande vantagem do uso de um sistema de climatização que utiliza este tipo de captação é o sistema "Free Cooling", mais conhecido por arrefecimento passivo, ou arrefecimento "ecológico" (usando como sistemas de distribuição os ventiloconvectores e com maior eficiência o pavimento radiante), [58].

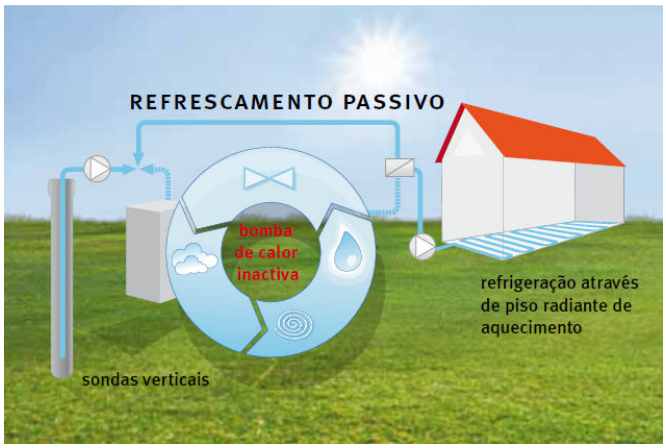


Fig.4.12 – Arrefecimento passivo ("Free Cooling") [58]

O termo mais correcto para arrefecimento quando se usa o piso radiante é *refrescamento*. Normalmente quando se usa arrefecimento é quando existe emissão directa de ar frio (arrefecimento activo), o que não acontece no pavimento radiante (será abordado este tema nos parágrafos 4.9.1.2. e 4.10.1.).

No caso dos ventiloconvectores pode haver climatização activa (quando se tem emissão directa de ar frio ou quente) ou climatização passiva (quando não existe uma emissão de ar directa).

No entanto, por uma questão de simplificação usa-se o termo *arrefecimento* para qualquer situação, podendo fazer-se distinção entre arrefecimento passivo ou activo.

Quando se usa o pavimento radiante, a água arrefecida circula pelo piso no interior do edifício e arrefece a superfície das divisões. Estas superfícies funcionam como permutadores de calores que retiram o calor do espaço ambiente e transferem-no para o solo.

A grande vantagem de se poder fazer a climatização do edifício com arrefecimento passivo é económica. Utilizam-se as baixas temperaturas do solo para se arrefecer os edifícios com um nível de temperatura agradável e sem correntes de ar.

Neste caso a bomba de calor não funciona durante o arrefecimento, somente funcionam os electrocirculadores do arrefecimento e o da água glicolada. Devido a este tipo de funcionamento os custos de exploração tornam-se bastante reduzidos.

O arrefecimento passivo tem a particularidade de não ter qualquer implicação construtiva no sistema geotérmico utilizado. A bomba de calor geotérmica tem que ter, no entanto, as características para este tipo de utilização, o que proporciona reduzidos custos de investimento (tipo de bomba geotérmica).

#### 4.5.2.2.2. Captação Vertical por Pilares Geotérmicos

A captação vertical por pilares geotérmicos é um caso particular da captação vertical e é usado quando as fundações do edifício são feitas sobre estacas. São aproveitados os furos das estacas para se fazer um aproveitamento geotérmico (Figura 4.13), [59].

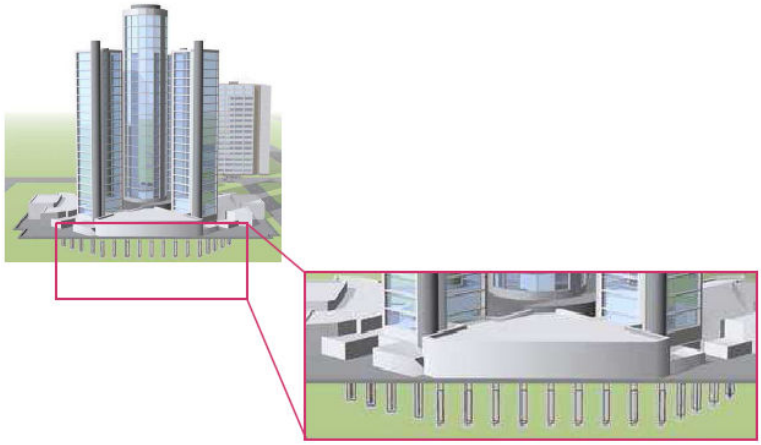

Fig.4.13 – Pilares energéticos [59]

Para este tipo de captação são usados os colectores geotérmicos PEX e PE-100, sendo o PEX o mais recomendado para este tipo de situações, visto ter melhores características.

Fig.4.14 – Armadura e colectores geotérmicos dos pilares energéticos

Como é possível ver na Figura 4.14, os colectores são colocados longitudinalmente sobre a armadura e são amarrados através de umas abraçadeiras. Estes colectores são protegidos por uma capa de modo a proteger o sistema da corrosão do aço.

Os colectores encontram-se protegidos por uma barreira contra a difusão do oxigénio

Os colectores ideais são os de PEX devido às suas vantagens técnicas de aplicação:

- Boa resistência a mossas e ranhuras, devido às tensões existentes no solo;
- Flexível e de fácil colocação, inclusive a baixa temperaturas;
- Bom funcionamento em serviço para raios de curvatura reduzidos (20 cm para o tubo com diâmetro de 20mm e 25 cm para o tubo com diâmetro de 25 mm);

Em Portugal não existe nenhum edifício ou outro tipo de construção que utilize este tipo de captação particular.

Um exemplo de edifício que usa este tipo de captação é o conhecido One Hyde Park, situado em Londres. Foi usado este sistema para fazer a climatização do edifício e a produção de AQS [60].

#### 4.5.2.3. Captação Mista

Actualmente existe um novo tipo de captação, também pouco explorado em Portugal que é a captação mista. Este tipo de captação usa sondas helicoidais como é possível ver na Figura 4.15, [61].

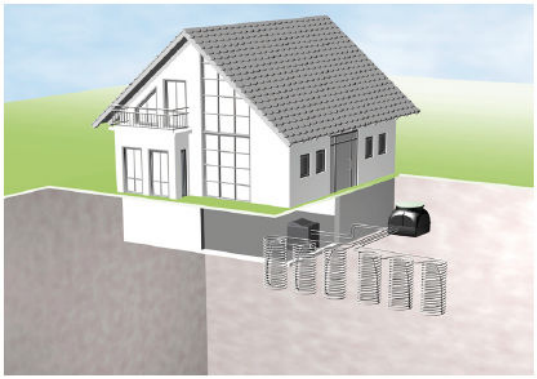

Fig.4.15 – Captação Mista [61]

Será feita apenas uma pequena apresentação deste tipo de captação, visto ainda não existirem muitas informações sobre ele.

A grande vantagem do uso deste tipo de captação está no modo construtivo. Este tipo de sondas além de poderem ser aplicadas a pouca profundidade, o material usado no enchimento dos furos pode ser o próprio da escavação. Isto deve-se ao facto destas sondas helicoidais serem feitas em tubos de PEX.

Esta tecnologia ainda é pouco usada, pois é recente e os vários representantes em Portugal ainda não têm grandes conhecimentos. Esta afirmação deve-se ao facto de se ter entrado em contacto com várias empresas e ter obtido esta resposta.

Na Figura 4.16 é apresentado uma sonda helicoidal em PEX usada neste tipo de captação.

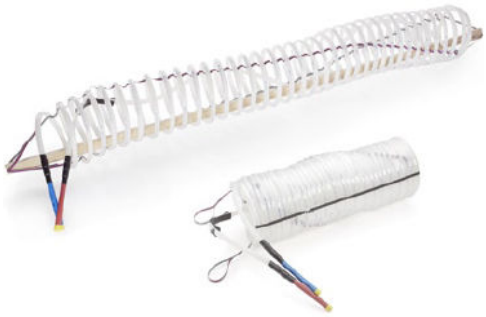

Fig.4.16 – Sonda helicoidal em PEX [61]

Este tipo de captação é denominada por mista porque tem características dos tipos de captação horizontal e vertical.

As características da captação horizontal devem-se ao facto de a sua implantação ter um panorama idêntico, visto a distribuição também ser feita horizontalmente. Relativamente às semelhanças com a captação vertical, este tipo de sondas helicoidais também são colocadas na vertical.

A aplicação da captação mista implica, como na captação horizontal, ter um vasta área de terreno onde seja permitido aplicar a tecnologia, sendo no entanto a sua área menor. A Figura 4.17 corresponde a um exemplo de aplicação deste tipo de captação.

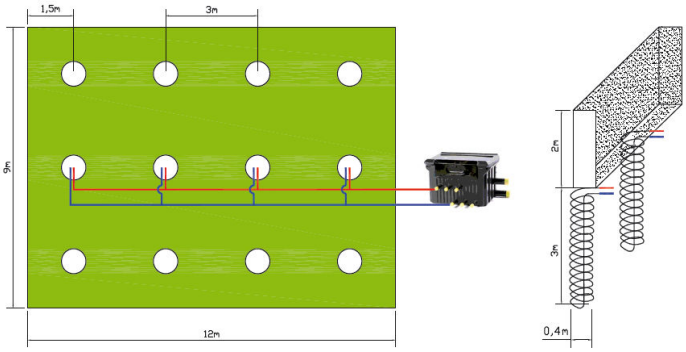


Fig.4.17 – Captação mista – implantação [61]

Como já foi dito anteriormente, a grande vantagem da captação mista é o seu processo construtivo e que passa pelos seguintes passos, expressos nas Figura 4.18, [62]:

- Escavação da vala;
- Perfuração;
- Instalação da sonda;
- Enchimento do furo;
- Ligação entre sondas;

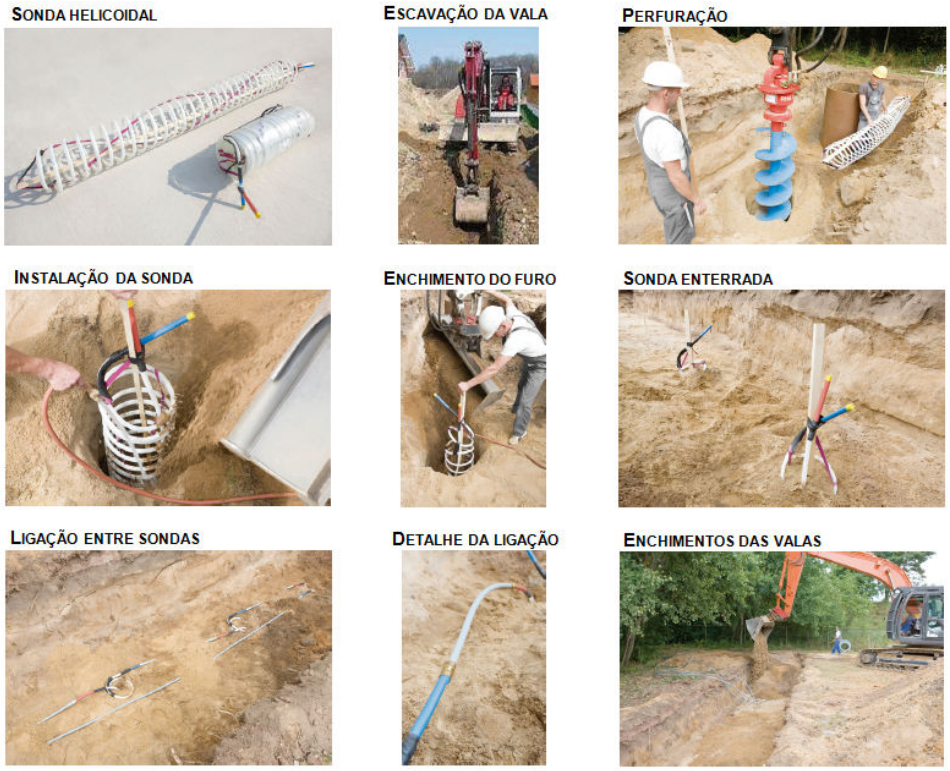


Fig.4.18 – Aplicação das sondas helicoidais [62]

## 4.6. DIMENSIONAMENTO DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO

Antes de começar directamente o dimensionamento dos tipos de captação é importante fazer um pré-dimensionamento do solo.

### 4.6.1. OBSERVAÇÃO DO SOLO

Na observação do solo existem três campos de análise:

- Geologia
- Condutibilidade térmica do terreno
- Superfície disponível

#### 4.6.1.1. Geologia

É preciso conhecer qual o tipo de solo existente no local onde se vai fazer a captação energética.

Se a captação for horizontal, é importante saber se é técnica e economicamente viável, fazer trincheiras. Note-se que se o material for rochoso e que obrigue à utilização de martelos, para uma superfície grande é possível que seja mais rentável fazer perfurações.

No caso de se optar por captação vertical, é preciso saber a constituição do solo, se os materiais constituintes são moles e soltos ou rígidos e estáveis.

#### 4.6.1.2. Condutibilidade térmica do terreno

É necessário conhecer a condutibilidade térmica do terreno em causa, para se obter o valor da potência térmica que é possível extrair da perfuração.

Normalmente este estudo é muito caro e por isso, nos casos mais correntes, estimam-se alguns valores. Só em casos específicos é que se fazem estes estudos.

#### 4.6.1.3. Superfície disponível

No caso da captação horizontal analisa-se se a área de superfície necessária é suficiente, para se fazer a captação energética. Nesta área não convém serem construídos elementos que impeçam o consumo de energia do sol, nem plantada vegetação que tenha raízes que possam atingir uma profundidade tal que possa danificar os colectores.

Ao usar a captação vertical, a área ocupada é consideravelmente menor. No entanto se o número de furos for grande, a área será maior. Isto acontece porque a distância de separação entre os furos é de aproximadamente 10 metros, variando o seu valor com o tipo de solo e as necessidades do edifício.

### 4.6.2. DIMENSIONAMENTO DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO

Os aproveitamentos geotérmicos analisados nesta dissertação são considerados superficiais, pois vão apenas até uma profundidade máxima de 400 metros.

Mais uma vez, os casos mais usados são as sondas geotérmicas e os colectores geotérmicos.

Antes de analisar directamente o dimensionamento de cada um dos casos, é necessário perceber o comportamento do solo, de modo a tirar as melhores vantagens do seu uso. O solo tem algumas propriedades importantes de estudo, como a temperatura.

A temperatura do solo pode variar de acordo com a região e a existência de lençóis freáticos (varia entre os 0 e os 20 °C), conforme a profundidade e estação do ano.

Na Figura 4.19 está representado um gráfico que mostra a temperatura do solo em função de até 20 metros de profundidade e para cada estação do ano (variação típica do solo europeu), [63].

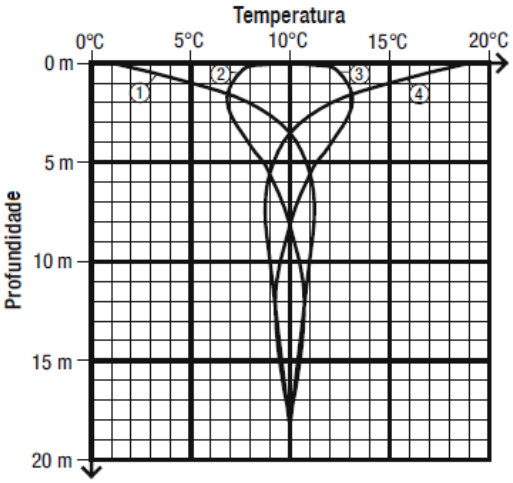


Fig.4.19 – Representação da variação da temperatura no solo em profundidade, conforme a estação do ano [63]

O gráfico é composto por 4 curvas e cada uma corresponde às diferentes estações do ano.

Quadro 4.1 – Associação das curvas às estações da Figura 4.19

| Curva | Estação |
|---|---|
| 1 | 1 de Fevereiro – Inverno |
| 2 | 1 de Maio – Primavera |
| 3 | 1 de Novembro – Outubro |
| 4 | 1 de Agosto – Verão |

Pela análise do gráfico é possível tirar algumas conclusões:

- A uma profundidade entre os 1,2 e 1,5 metros, a temperatura varia entre os 7 e 13 °C ao longo do ano;
- A uma profundidade de 18 metros a temperatura mantêm-se constante de 10 °C, independentemente das condições climatéricas;

Regra geral, a temperatura aumenta cerca de 2 a 3 °C por cada 100 metros. Assim, admite-se que a 100 metros de profundidade poderemos ter no solo temperaturas de aproximadamente 12 °C e a 200 metros de profundidade, cerca de 15 °C.

A temperatura do solo pode variar de acordo com a região (diferentes tipos de solo) e a existência de lençóis de água subterrânea, situando-se entre os 0 e 20 °C, consoante a profundidade e a estação do ano.

Devido a estas variações de temperatura do solo, é possível aproveitar estas temperaturas para a climatização ambiente e produção de AQS de um edifico, com ajuda de uma bomba de calor geotérmica.

Para se dimensionar uma instalação geotérmica é preciso saber qual a potência de aquecimento e arrefecimento instantâneas e a capacidade de aquecimento e arrefecimento anual. Após a obtenção destes valores, estuda-se o tipo de solo existente e analisa-se qual a capacidade energética que o solo pode oferecer em conjunto com a bomba de calor geotérmica.

Em pequenas instalações (edifícios), com potências térmicas máximas de 30 kW, a directriz alemã VDI 4640 [63], descreve os passos necessários para o dimensionamento dos respectivos tipos de captação em análise nesta dissertação.

Quando há casos em que as potências térmicas são superiores a 30 KW, é recomendável fazer um cálculo mais preciso, que tem como base o estudo do solo. Para o estudo do solo é feito um ensaio chamado Teste de Resposta Térmica (TRT).

#### 4.6.2.1. Teste de Resposta Térmica

O TRT é um ensaio feito no terreno e tem a finalidade de determinar com eficácia a condutibilidade térmica do solo. O seu aspecto pode ser visto na Figura 4.20.

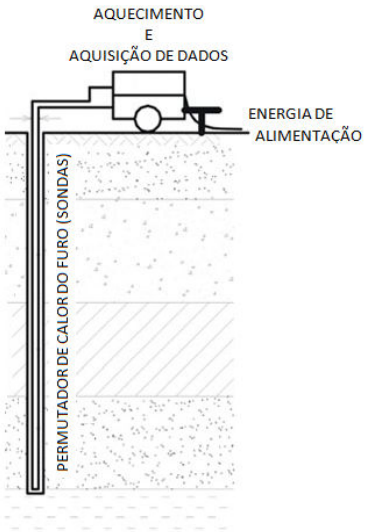


Fig.4.20 – Ensaio TRT [64]

Este ensaio é feito sempre que ocorre uma das duas condições seguintes:

- Em edifício com necessidades de potências térmicas (ou necessidades energéticas) mínimas de 30 kW;
- Quando existem vários furos.

O ensaio TRT é feito unicamente nestas condições uma vez que tem um custo elevado.

O parâmetro – condutibilidade térmica de solo – obtido neste ensaio é muito importante para o dimensionamento de sistemas geotérmicos com o tipo de captação vertical, nomeadamente as sondas verticais e os pilares geotérmicos (nas condições acima referidas), [64].

No caso de um edifício com potências térmicas superiores a 30 kW é necessário ter um valor correcto da condutibilidade do terreno pois trata-se de um edifício que requer elevadas necessidades de energia

para a sua climatização e produção de AQS. O mau dimensionamento pode levar a que o sistema não funcione correctamente. No entanto, a directriz VDI 4640 recomenda que se faça este teste no caso de se ter edifícios com potências superiores a 30 kW.

Quando existem vários furos o ensaio é feito por uma questão de economia. Um exemplo de aplicação: quando se tem vários furos dimensionados teoricamente para 100 metros, e com a realização do ensaio TRT chega-se à conclusão que só é necessário furos de 80 metros. Uma vez que o furo tem um custo significativo, poupar 20 metros em vários furos tem obrigatoriamente vantagens económicas.

As medidas "in loco" da condutibilidade térmica permitem que os cálculos sejam realizados sem margem de segurança.

Os resultados obtidos do TRT são qualitativamente superiores aos resultados obtidos em laboratório, já que a sua metodologia não adultera os parâmetros físicos e litológicos da terra.

Este ensaio, além de medir a condutibilidade térmica do solo, mede também a resistência térmica dos furos de sondagem. Este parâmetro indica a qualidade da instalação da sonda geotérmica e se o material pressionado apresenta elevada resistência térmica.

O TRT pode ser feito numa perfuração teste (extensão do furo do teste por uma sonda geotérmica) ou sobre a primeira perfuração de um terreno (com várias sondas geotérmicas), [65].

O ensaio é iniciado com a aplicação de uma quantidade constante de calor no solo e é medida a resposta da temperatura. A avaliação convencional de um TRT é feita de acordo com a Teoria da Linha de Fonte de Kelvin (Hellström, G.e Gehlin, S.) [66], com base no traçado da temperatura do líquido do campo de sondas geotérmicas durante a realização do teste.

Como é possível ver na Figura 4.20 existe uma caixa onde estão incorporados aparelhos de medição e a resistência (que faz o aquecimento da água). A caixa é alimentada de energia eléctrica para o seu funcionamento e é importante que durante o ensaio (normalmente 4 a 6 dias) não haja corte de corrente.

Este ensaio é composto por um circuito fechado onde a água é aquecida por uma resistência e percorre todo o circuito, desde a caixa, passando pelas sondas e regressando novamente à caixa. Este é, assim, um processo cíclico.

A água é aquecida na caixa e, ao passar pelas sondas, a sua energia é transferida para o solo. Quando a água retorna à caixa, já tem uma temperatura diferente e acaba por ser novamente aquecida. Daí transfere novamente a sua energia ao solo quando passar pelas sondas geotérmicas.

Quando não houver trocas de calor entre a sonda e o solo, ou seja, a temperatura da água ficar constante e o solo já não tiver capacidade de absorver mais energia, pára-se o circuito e é nesta fase que é possível tirar o valor da condutibilidade térmica do solo.

#### 4.6.2.2. Sondas Geotérmicas

O dimensionamento das sondas geotérmicas está descrito na directriz alemã 4640 VDI [63]. No entanto, será feita uma análise dos aspectos mais importantes no dimensionamento. Todas as tabelas apresentadas neste dimensionamento são da respectiva norma.

O dimensionamento apresentado é feito com a combinação de sondas geotérmicas e de uma bomba de calor.

Durante a apresentação do dimensionamento é feito um exemplo, de modo a tornar prática a aplicação demonstrada.

Para um primeiro cálculo é preciso saber alguns valores:

- Potência de aquecimento do edifício (projecto de térmica – necessidades energéticas);
- Potência da bomba de calor e respectivo valor do coeficiente de performance da bomba de calor (COP);

O COP de uma bomba de calor está relacionado com o "rendimento" que se pode obter dessa mesma bomba.

A escolha da bomba de calor depende das necessidades do edifício. É usual utilizar o valor mais desfavorável das necessidades, ou seja, o maior valor entre as necessidades existentes (aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias). Após saber a potência mais desfavorável (que normalmente é a potência de aquecimento), escolhe-se uma bomba de calor que tenha essa mesma potência.

Com estes valores calcula-se a potência do evaporador. Esta pode também ser designada de potência das sondas, e que pode ser quantificada pela diferença entre a potência da bomba de calor e a potência consumida pelo compressor da mesma bomba.

$$Potência\ do\ evaporador = \frac{Potência\ de\ aquecimento\ (kW) * (COP - 1)}{COP} \quad (4.1)$$

Aplicando um exemplo, para uma potência de aquecimento de 12 kW e respectivo COP de 4, obtemos o valor de 9kW para a potência do evaporador.

$$Potência\ do\ evaporador = \frac{12 * (4 - 1)}{4} = 9\ kW \quad (4.2)$$

Para o dimensionamento das sondas geotérmicas com a bomba de calor geotérmica, é necessário saber a potência específica de captação dos diferentes tipos de solo. A potência específica de captação de uma sonda geotérmica depende das características das formações rochosas e dos lençóis freáticos.

No Quadro 4.2 são apresentados os valores respectivos das potências específicas de captação, para vários tipos de solos, [52].

Quadro 4.2 – Valores de potência de captação (VDI 4640)

| **Tipo de Solo** | **Potência específica de Captação (W/m)** |
|---|---|
| Valores Gerais | |
| Sedimentos fragmentados e secos (λ<1,5 W/m.K) | 25 |
| Mistura de rocha e sedimentos – meio húmido (λ<1,5 – 3 W/m.K) | 60 |
| Rocha consolidada com elevada condutibilidade (λ>3 W/m.K) | 84 |
| Tipos de Rochas | |
| Godo, areia – secos | <25 |
| Godo, areia – saturado de água | 65 – 85 |
| Zonas com fluxo de água subterrâneo | 80 – 100 |
| Argila, Calcário – meio húmido | 35 – 50 |
| Calcário maciço | 55 – 70 |
| Arenito | 65 – 80 |
| Granito | 65 – 85 |
| Basalto | 40 – 65 |
| Gneiss | 70 – 85 |

Analisando os valores do Quadro 4.2 é possível concluir que rochas como o granito e os gneiss possuem características vantajosas para a transferência de calor, por apresentarem uma elevada condutibilidade e capacidade calorífica, ao contrário das areias e argilas.

A existência de água ao longo das sondas melhora o seu rendimento.

Os valores apresentados no quadro são válidos apenas para as seguintes condições:

- Extracção apenas para a produção de calor (aquecimento ambiente incluindo o aquecimento de águas quentes sanitárias)
- Sondas com comprimento entre os 40 e os 100 metros;
- Distâncias mínimas entre dois furos de sondas:
  - Pelo menos de 5m entre furos para profundidades de sondas entre os 40 e os 50m;
  - Pelo menos de 6m entre furos para profundidades superiores a 50m e até 100m;
- Tubos de sondas em duplo U, de diâmetro em cada tubo de DN32 e DN40;

Após a apresentação dos valores da potência de captação, continuar-se-á com o dimensionamento das sondas geotérmicas.

Para o cálculo do comprimento das sondas é utilizada a seguinte formula.

$$Comprimento\ da\ sonda\ (m) = \frac{Potência\ do\ evaporador\ (W)}{Potência\ específica\ de\ captação\ (W/m)} \quad (4.3)$$

Retomando novamente o exemplo, para um solo em que a sua constituição é de granito, a potência específica de captação apresenta um valor médio de 70 W/m.

Nestas condições tem-se um comprimento de sonda com 130 metros.

$$Comprimento\ da\ sonda = \frac{9000}{70} = 130\ m \quad (4.4)$$

Pela directriz alemã VDI 4640 é recomendável arredondar os valores do comprimento de sonda obtidos no dimensionamento para um número superior. Os números para que são arredondados são: 60, 90, 120, 150,160, 180, 210, 240, 270 e 300 metros.

O comprimento da sonda final por vezes é dividido em valores menores, ou seja, em vez de usar uma sonda com um comprimento tão grande, divide-se em mais sondas com valores menores. Isto acontece por causa das perdas de cargas existentes numa sonda com comprimento muito grande e também devido à capacidade da bomba circuladora da máquina.

Neste caso o ideal era arredondar o comprimento da sonda para 150 metros e usar duas sondas com comprimento de 80 metros.

#### 4.6.2.3. Colectores Geotérmicos

No caso dos colectores geotérmicos o dimensionamento é igual ao das sondas geotérmicas até ao cálculo da potência do evaporador [63].

$$Potência\ do\ evaporador = \frac{Potência\ de\ aquecimento\ (kW) * (COP - 1)}{COP} \quad (4.5)$$

$$Potência\ do\ evaporador = \frac{12 * (4 - 1)}{4} = 9\ kW \quad (4.6)$$

Após o cálculo da potência da bomba do evaporador, calcula-se a superfície do colector geotérmico necessário, através da fórmula seguinte.

$$Superfície\ de\ colector\ geotérmico = \frac{Potência\ do\ evaporador\ (W)}{Calor\ específico\ de\ extracção\ (W/m\text{^}2)} \quad (4.7)$$

Para se calcular o calor específico de extracção é preciso saber a capacidade térmica do terreno, que depende do tempo de funcionamento anual. É apresentado no Quadro 4.3, existente na directriz VDI 4640, os respectivos valores em função do subsolo.

Quadro 4.3 – Calor especifico de extracção em função do tipo de subsolo (VDI 4640)

| Subsolo | Calor específico de extracção (W/m$^2$) | |
|---|---|---|
| | 1800 h | 2400 h |
| Solo não coesivo | 10 | 8 |
| Solo coesivo (húmido) | 20 – 30 | 16 – 24 |
| Solo saturado | 40 | 32 |

Aplicando novamente o exemplo, para um solo coesivo e 1800h/ano de funcionamento, o calor específico de extracção apresenta um valor médio de 25 W/m$^2$.

$$Superfície\ de\ colector\ geotérmico = \frac{9000}{25} = 360\ m^2 \quad (4.8)$$

Nestas condições teria uma superfície de colector geotérmico de 360 m$^2$.

Após calculada a superfície necessária de colector geotérmico é preciso saber qual a dimensão do tubo a aplicar e calcular a quantidade de tubo necessária.

A dimensão do tubo depende da capacidade térmica do solo. Na directriz VDI 4640 é apresentada o Quadro 4.4 que ajuda a escolher a dimensão do tubo em função do tipo de solo.

Quadro 4.4 – Dimensão do tubo em função do tipo de solo (VDI 4640)

| Tipo de Solo | Dimensão do tubo (mm) |
|---|---|
| Solo não coesivo | 20 |
| Solo coesivo (húmido) | 25 |
| Solo saturado | 32 |

Para calcular a quantidade de tubo necessária é preciso saber qual a distância regulamentar entre os tubos e na directriz lê-se que é recomendado entre os 0,5 e 0,8 metros.

A fórmula de cálculo para a quantidade de tubo é:

$$Quantidade\ de\ tubo = \frac{Superfície\ de\ colector\ geotérmico\ (m^2)}{Distância\ entre\ tubos\ (m)} \quad (4.9)$$

Aplicando o referido exemplo e admitindo uma distância entre tubos de 0,75 metros, obter-se-ía uma quantidade de tubo de 480 metros.

$$Quantidade\ de\ tubo = \frac{360}{0{,}75} = 480\ m \quad (4.10)$$

Esta apresentação pode ser considerada como um pré-dimensionamento, pois também existem programas informáticos que detalham o cálculo com inúmeras varáveis existentes.

## 4.7. MATERIAIS E ACESSÓRIOS DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO

São vários os acessórios existentes em cada tipo de sistema geotérmico, no entanto, só serão apresentados os acessórios e materiais principais dos colectores e das sondas geotérmicas.

Independentemente do tipo de captação, usando sondas ou colectores, a jusante existe sempre a bomba de calor geotérmica e os sistemas de distribuição pavimento radiante ou ventiloconvectores.

No parágrafo 4.9 e 4.10 será feita uma análise à zona técnica e aos sistemas de distribuição e aí serão apresentados alguns detalhes dos materiais e acessórios existentes.

### 4.7.1. SONDAS GEOTÉRMICAS

No mercado existem diversas formas do tipo de acessórios constituintes das sondas geotérmicas. As diversas marcas criam vários produtos e cada uma tem materiais próprios.

O esquema mais usual de uma sonda geotérmica é apresentado na Figura 4.21.

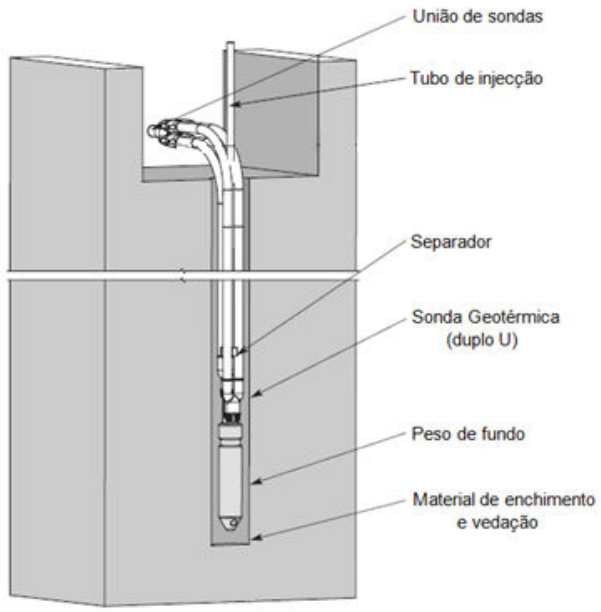


Fig.4.21 – Esquema da sonda geotérmica [67]

#### 4.7.1.1. Tubo da Sonda Geotérmica

As sondas geotérmicas são constituídas por tubos em PEX e polietileno PE-100.

Será feita uma descrição das diferenças entre a utilização das diferentes sondas. As imagens que se seguem representam os materiais e acessórios mais utilizados em Portugal (Figura 4.22).

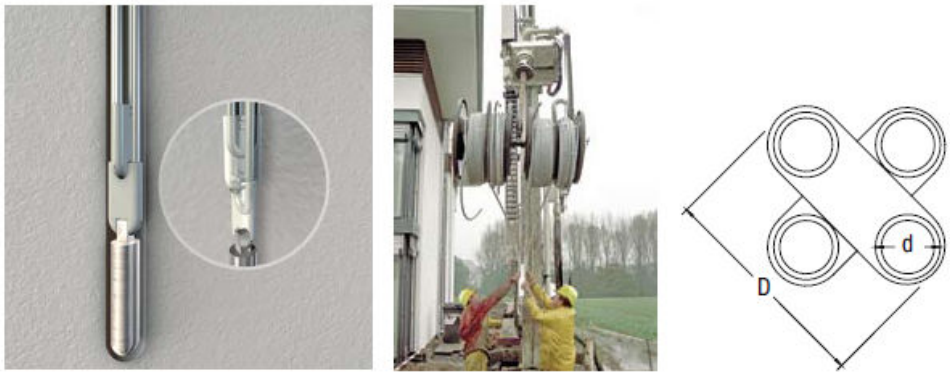


Fig.4.22 – Sonda geotérmica PEX [63]

A sonda geotérmica em PEX é um tubo duplo em U, composta por duas sondas U individuais cruzadas e unidas entre elas. As duas sondas individuais em U juntam-se, estando ambas a uma pressão que as mantem numa unidade sólida. Este tipo de sondas é bastante resistente a fissuras.

Os dois tubos em U são unidos, em posição cruzada e por um casquilho, como é possível ver na Figura 4.22.

A particularidade desta sonda é que prescinde de qualquer soldadura, uma vez que os tubos de PEX vêm de fábrica curvados no pé da sonda sem qualquer tipo de união entre tubos. A zona curvada no pé da sonda é protegida com uma resina de poliéster reforçada com fibra de vidro.

Segundo a norma DIN 16892/93 estes tubos têm uma durabilidade de 100 anos a 20 °C e pressão máxima de 15 bar.

O diâmetro do pé da sonda depende do diâmetro do tubo. São apresentados no Quadro 4.5 os valores do diâmetro do pé da sonda em função do diâmetro do tubo.

Quadro 4.5 – Diâmetro do pé da sonda em função do diâmetro do tubo da sonda (PEX)

| Tubo da Sonda (mm) | Pé da Sonda (mm) |
|---|---|
| 32 | 110 |
| 40 | 134 |

Após a análise da sonda geotérmica em PEX, será apresentada a sonda geotérmica em polietileno PE-100, com características um pouco diferentes.

É importante salientar que as sondas em PEX apresentam custos mais elevados do que as sondas em polietileno PE-100.

Fig.4.23 – Sonda geotérmica PE-100 [63]

As sondas constituídas por tubos de polietileno PE-100 são as mais utilizadas em Portugal.

As sondas de polietileno PE-100 são constituídas por um circuito fechado de tubos em U simples ou duplo. Existem duas formas relativamente ao pé da sonda; um vem soldado de fábrica com uma peça em forma de V, é mais pequeno que a sonda PEX e só tem duas uniões soldadas; o outro tem forma de U também com as mesmas características.

Este tipo de sonda é o mais usado na prática, visto ter um preço mais baixo do que as sondas em PEX.

Neste tipo de sonda, o diâmetro do pé está dependente do diâmetro do tubo (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 – Diâmetro do pé da sonda em função do diâmetro do tubo da sonda (PE-100)

| Tubo da Sonda (mm) | Pé da Sonda (mm) |
|---|---|
| 32 | 84 |
| 40 | 104 |

#### 4.7.1.2. Peso de fundo

O peso de fundo está fixo na parte inicial da sonda (Figura 4.24) (ou seja, no pé da sonda), e serve para dar estabilidade, impedindo que a tubagem oscile.

Fig.4.24 – Peso de fundo [68]

Este peso após a sua colocação no solo não é reutilizável situa-se entre os 15 e 20 kg.

O pé da sonda geotérmica em polietileno PE-100 mais usado em Portugal tem o aspecto da Figura 4.25.

Fig.4.25 – Pé da sonda [68]

#### 4.7.1.3. Separador

Existem diversos tipos de separadores e são apresentados na Figura 4.26 os mais usados.

Fig.4.26 – Separadores [68]

Os separadores servem para assegurar uma distância de separação entre os 4 tubos da sonda e para impedir a sonda de raspar nas paredes da perfuração. No meio existe um espaço para a colocação do tubo de injecção.

#### 4.7.1.4. Material de enchimento e vedação

Após a colocação das sondas nos buracos, é feito um enchimento do espaço com uma argamassa através de uma máquina bombeável e de um tubo de injecção.

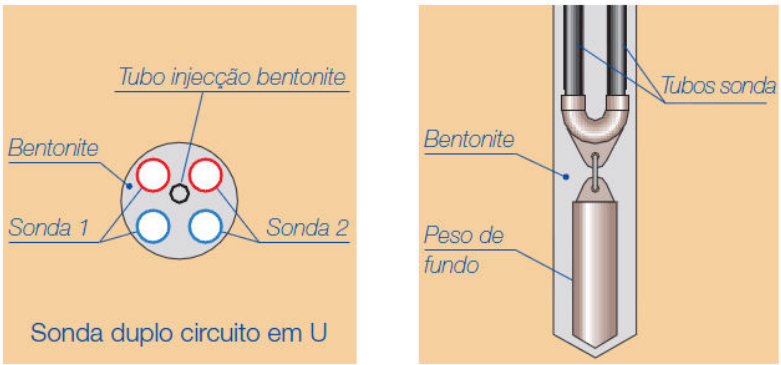


Fig.4.27 – Material de enchimento e vedação / tubo de injecção [54]

A argamassa é constituída por cimento, bentonite, água e por vezes areia de sílica com grão muito fino.

Esta argamassa tem as seguintes finalidades: [68]

- Provocar um bom assentamento da sonda;
- Melhorar a transmissão térmica existente entre o solo e a sonda;
- Proteger contra agressões químicas da água e do solo;
- Selar as camadas impermeáveis que tenham sido atravessadas durante a perfuração, evitando a contaminação de águas subterrâneas;

O material de enchimento deve ser injectado de baixo para cima com a ajuda do tubo de injecção.

#### 4.7.1.5. Tubo de injecção

O tubo de injecção é usado para se fazer a injecção do material de enchimento e vedação. O material do tubo é de polietileno de alta densidade (PE 100 / PN16) e o seu diâmetro normalmente é de 25mm (Figura 4.28).

O tubo com estas características está em condições de aguentar as grandes pressões existentes no solo.

Fig.4.28 – Tubo de injecção [68]

#### 4.7.1.6. União de sondas

A união de sondas normalmente tem a forma de "Y", como é possível ver na Figura 4.29.

Fig.4.29 – União de sondas [68]

Este acessório serve para fazer o controlo de impulsões e dos retornos existentes na sonda. A sua forma em "Y" faz com que se poupe custos em colectores de distribuição e se economize espaço para a sua instalação.

As uniões de sondas podem ser colocadas através de soldadura ou mangas electrosoldáveis.

### 4.7.2. COLECTORES GEOTÉRMICOS

Os tubos usados neste tipo de captação são em PEX (Figura 4.30) e PE-100.

As principais vantagens do uso do PEX relativamente ao PE-100 são: [63]

- Maior resistência a rachaduras e fendas;
- Permite realizar raios de curvatura reduzidos, mesmo a baixas temperaturas;
- Não é necessário leito de areia;
- Pode ser usado a temperaturas acima dos 40 °C.

Fig.4.30 – Colector geotérmico PEX (Rehau,2008)

O colector geotérmico PEX é um tubo robusto e é fabricado em polietileno reticulado a alta pressão e tem uma camada externa de cor cinza de protecção aos raios ultravioleta (Figura 4.31).

Fig.4.31 – Implantação do colector geotérmico PEX (Rehau,2008)

Este tipo de colector geotérmico tem as seguintes características:

- Resistência a ranhuras e cargas pontuais, sendo possível usar material de escavação como leito;
- Resistência à tenso-fissuração;
- Bom comportamento em serviço, incluindo raios de curvatura reduzidos (Quadro 4.7):

Quadro 4.7 – Raio de curvatura em função do diâmetro do tubo e da temperatura (PEX)

| | **20 mm** | **25 mm** | **32 mm** | **40 mm** |
|---|---|---|---|---|
| **20 ºC** | 20 cm | 25 cm | 30 cm | 40 cm |
| **10 ºC** | 30 cm | 40 cm | 50 cm | 65 cm |
| **0 ºC** | 40 cm | 50 cm | 65 cm | 80 cm |

- Livre de propagação de fissuras;
- Resistente à abrasão;
- Flexível, sendo fácil de colocar a baixas temperaturas;
- Pode ser aplicado em temperaturas negativas sem adoptar medidas especiais;
- Como é um tubo extremamente robusto, não há propagação de rachaduras ou cortes durante o transporte ou a colocação;
- Grande durabilidade, mesmo no caso de cargas pesadas.

Após a apresentação das características do colector geotérmico PEX, passar-se-á à apresentação do colector em PE-100 (Figura 4.32).

Os colectores geotérmicos em PE-100, tal como as sondas geotérmicas em PE-100, são os mais utilizados em Portugal.

Fig.4.32 – Colector geotérmico PE-100 (Rehau, 2008)

O colector geotérmico PE-100 é um tubo fabricado em polietileno de cor preta, protegido dos raios ultravioleta e o seu fabrico deverá ser feito de acordo com a norma DIN 8074.

Fig.4.33 – Implantação do colector geotérmico PE-100 (Rehau,2008)

Este tipo de colector geotérmico tem as seguintes características:

- São colocados sobre um leito de areia para estarem protegidos das cargas pontuais (Figura 4.33);
- Apresentam um comportamento estável até aos 40 °C;
- Os raios mínimos de curvatura dependem em grande medida da temperatura durante a instalação (Quadro 4.8):

Quadro 4.8 – Raio de curvatura em função do diâmetro do tubo e da temperatura (PE-100)

| | **25 mm** | **32 mm** | **40 mm** |
|---|---|---|---|
| **20 ℃** | 50 cm | 65 cm | 80 cm |
| **10 ℃** | 85 cm | 110 cm | 140 cm |
| **0 ℃** | 125 cm | 160 cm | 200 cm |

- A sua robustez é mais fraca, havendo probabilidade de propagação lenta de rachaduras ou cortes durante o transporte ou a colocação.

Após a análise de cada um dos colectores geotérmicos é apresentado o Quadro 4.9 com as características de cada tubo com propriedades mais específicas [63].

Quadro 4.9 – Características dos materiais PEX e PE-100

| **Colector Geotérmico** | **PEX** | **PE-100** |
|---|---|---|
| **Norma a cumprir** | DIN 16892 / 16893 | DIN 8074 / 8075 |
| **Resistência à fadiga (FS=1,25)** | Tubos SDR 11 (20 x 1,9; 25 x 2,3; 32 x 2,9; 40 x 3,7) | |
| **Temperatura de serviço** | - 40 ℃ até 95 ℃ | - 20 ℃ até 30 ℃ |
| **Temperatura mínima** | - 30 ℃ | - 10 ℃ |
| **Propagação de fissuras ao ensaio FNCT** | Não | Sim, após 200-2000 h |
| **Material do leito** | Terreno existente | Areia |
| **Rugosidade do tubo** | 0,007 mm | 0,04 mm |
| **Coeficiente médio de dilatação térmico longitudinal** | 0,15 mm/(m*K) | 0,20 mm/(m*K) |
| **Classe do material de construção segundo DIN 4102** | B2 | B2 |

Quadro 4.10 – Características dos materiais PEX e PE-100 (continuação)

| Colector Geotérmico | PEX | PE-100 |
|---|---|---|
| **Resistência química** | Anexo 1 da norma DIN 8075 | Anexo 1 da norma DIN 8075 |
| **Densidade** | 0,94 g/cm$^3$ | 0,95 g/cm$^3$ |
| **Aptidão para acumulação de calor** | Ilimitada (temperatura de serviço até 95 °C) | Não (temperatura de serviço máxima apenas de 30 °C) |
| **Aptidão para refrigeração por máquina frigorífica** | Sim (temperatura de serviço até 95 °C) | Ilimitada (temperatura de serviço máxima apenas de 40 °C) |
| **Glicol Utilizável** | Segundo a orientação VDI 4640 | |

## 4.8. INSTALAÇÃO E MONTAGENS DOS TIPOS DE CAPTAÇÃO

Como já dito anteriormente, somente serão analisados os tipos de captação mais utilizados em Portugal, ou seja, a captação vertical por sondas geotérmicas e a captação horizontal com colectores geotérmicos.

Neste parágrafo serão apresentadas todas as fases desde a escavação do furo até à implementação dos permutadores de calor (sondas e colectores).

### 4.8.1. SONDAS GEOTÉRMICAS

Neste parágrafo será feita uma abordagem dos passos mais importantes. No entanto, no próximo capítulo, na análise de um caso prático real serão apresentados todos os passos de uma forma mais detalhada.

A aplicação das sondas geotérmicas é composta particularmente por 2 fases:

- Execução do furo
- Introdução das sondas geotérmicas no furo

#### 4.8.1.1. Execução do furo

No início prepara-se o local onde se vai realizar o furo, sendo necessário proceder à limpeza e nivelação do terreno de modo a poder fazer-se um melhor trabalho.

Os equipamentos utilizados para a execução do furo são:

- Máquina de perfuração
- Compressor
- Tubos
- Martelo de fundo-de-furo

Máquina de perfuração

Existem, no mercado, vários tipos de máquinas de perfuração. Esta máquina serve para abrir o furo à profundidade desejada (Figura 4.34).

Existem máquinas específicas em função do tipo de profundidade, sendo umas mais aconselháveis para perfurações maiores.

A perfuração pode ser feita através de vários métodos, entre os quais os mais usados:

- Perfuração à rotação (circulação directa) a lamas;
- Roto-percussão com martelo de fundo-de-furo.

O método mais usado destes dois é a roto-percussão com martelo de fundo-de-furo com extracção de material em excesso por ar comprimido, [69]. O ar comprimido permite retirar os detritos de solo que se encontram no furo e a água proveniente de camadas subterrâneas que também se encontra no furo.

Fig.4.34 – Máquina de perfuração [69]

Compressor

O compressor é a fonte de alimentação da máquina de perfuração e tem o aspecto da Figura 4.35. Os compressores normalmente são abastecidos por combustível e são máquinas que apresentam grandes consumos, tendo um peso significativo nos custos dos furos.

Fig.4.35 – Compressor

Tubos

Os tubos são aplicados na máquina de perfuração e são usados para se fazer o furo. Existem vários tipos de tubos, uns para solos mais moles (que servem para escoragem das paredes do furo – tubos ocos – protegendo o furo de bocados de solo soltos) e outros para solos mais duros.

Fig.4.36 – Tubos [69]

Martelo de fundo-de-furo

Na figura seguinte está representado um martelo de fundo que é usado nas perfurações e a sua utilidade torna-se mais eficiente em solos mais duros.

Fig.4.37 – Martelo de fundo-de-furo [69]

A combinação destes componentes e equipamentos apresentados permitem fazer furos no solo (Figura 4.38) para a aplicação das sondas geotérmicas.

Fig.4.38 – Execução de um furo [69]

#### 4.8.1.2. Introdução das sondas geotérmicas no furo

Após ser feito o furo são colocadas as sondas geotérmicas. Serão apresentados os passos de aplicação de sondas geotérmicas.

Passo de aplicação 1

Antes de se colocar a sonda geotérmica é necessário prepará-la para a sua correcta aplicação. Numa primeira fase é colocado o peso de fundo no pé da sonda, como é possível ver na figura seguinte.

Depois a sonda é posta num equipamento que permite que ela seja desenrolada durante a sua aplicação no furo.

Fig.4.39 – Passo de aplicação 1 – SG

Passo de aplicação 2

Após a sonda estar correctamente preparada é então colocada num local superior ao furo (normalmente fica apoiada na parte de cima da máquina de perfuração) para entrar com facilidade e totalmente na vertical durante o desenrolar.

Fig.4.40 – Passo de aplicação 2 – SG [69]

Na aplicação da sonda é usual encher a mesma com água de modo a ficar com peso suficiente para conseguir vencer a força da água existente no furo. Após o furo ser feito é normal aparecer água no furo, vinda das camadas subterrâneas (isto poderá dificultar depois a aplicação da sonda).

Durante a aplicação da sonda no furo são colocados os separadores no caso de ter sondas duplas e o tubo de injecção.

Passo de aplicação 3

Finalizada a aplicação da sonda geotérmica são cortados os tubos da sonda deixando as pontas de fora do furo.

Fig.4.41 – Passo de aplicação 3 – SG [63]

Após cortar os tubos da sonda protege-se a entrada dos mesmos para não entrarem resíduos que os possam danificar. Ao retirar os tubos ocos (utlizados na abertura do furo), que nesta situação são necessários ao encamisamento do furo, há tendência a ocorrer a entrada de resíduos nos tubos da sonda, daí a devida protecção.

Retirados os tubos ocos é feito o enchimento do furo com o material de enchimento e vedação com a ajuda do tubo de injecção.

Estando completo quase todo o processo da aplicação da sonda geotérmica são retiradas as protecções dos tubos da sonda e esta é preenchida com água de modo a ser limpa, retirar bolhas de ar e certificar que não existe nenhuma fuga ou obstrução. Após esta operação é colocada novamente uma protecção nos tubos.

Passo de aplicação 4

Estando a sonda geotérmica totalmente colocada no terreno, é feito o enchimento da sonda com água glicolada e de seguida um ensaio aplicando uma pressão mínima de 6 bar.

Após esta fase são colocadas as uniões de sondas e estas são ligadas aos colectores de distribuição (que normalmente ficam situados na zona técnica) (Figura 4.45). A tubagem que liga as uniões de sonda aos colectores de distribuição deve ser inferior a 15 metros por causa das perdas de carga existentes entre esta ligação.

Fig.4.42 – Passo de aplicação 4 (união de sonda) – SG [46]

É recomendável que essa ligação fique no ponto mais alto da instalação, relativamente à captação, [70].

Fig.4.45 – Passo de aplicação 4 (colector de distribuição) – SG [70]

Não é obrigatória a utilização de colectores de distribuição em todos os aproveitamentos geotérmicos.

A função de um colector de distribuição é permitir que o caudal nas diversas sondas seja sempre o mesmo. Quando existem vários furos e com profundidades diferentes, já é obrigatório o seu uso.

Num caso inverso, com poucos furos (2 ou 3) e com profundidades iguais, não é necessária a colocação de colectores de distribuição, reduzindo assim o custo da instalação.

### 4.8.2. COLECTORES GEOTÉRMICOS

A aplicação dos colectores geotérmicos é mais fácil visto não ter a necessidade de se fazer um furo, que é a tarefa mais pesada em termos económicos.

A aplicação dos colectores geotérmicos também é composta por duas fases:

- Desaterro do terreno
- Aplicação dos colectores geotérmicos no terreno

#### 4.8.2.1. Desaterro do terreno

Na aplicação de colectores geotérmicos a primeira tarefa passa por se fazer o desaterro do terreno onde vão ser colocados os colectores (Figura 4.46).

Fig.4.46 – Desaterro do terreno [46]

#### 4.8.2.2. Aplicação dos colectores geotérmicos no terreno

Feito o desaterro do terreno entra-se na aplicação directa dos colectores geotérmicos.

Passo de aplicação 1

Numa primeira fase, após o desaterro, é necessário escolher o ponto mais alto onde se vão instalar os colectores de distribuição. Neste caso podem ficar no exterior, podendo ficar instalados em caixas de plástico com uma tampa que tenha características que protejam os tubos dos raios ultravioletas.

Após escolhido o local para os colectores de distribuição e a sua instalação, procede-se à ligação dos colectores geotérmicos aos colectores de distribuição (Figura 4.47), [71].

Fig.4.47 – Passo de aplicação 1 – CG [63]

Passo de aplicação 2

É nesta altura que se começa a estender os tubos no terreno em questão, no entanto, é importante que antes disso se apliquem no terreno umas pequenas estacas que permitam ajudar no alinhamento (Figura 4.48).

Fig.4.48 – Passo de aplicação 2 – CG [63]

É fundamental na aplicação dos tubos respeitar os raios de curvatura, que são diferentes consoante sejam de PEX ou PE-100.

Passo de aplicação 3

Após a aplicação dos colectores no terreno, estes são fixos através de um acessório próprio (Figura 4.49).

Fig.4.49 – Passo de aplicação 3 – CG [46]

Uma vez aplicados os acessórios de fixação cobrem-se os tubos com material de escavação (ver figura 4.49) e retiram-se as estacas de alinhamento.

Passo de aplicação 4

Após os tubos estarem totalmente colocados no terreno é importante fazer alguns testes antes de colocar o terreno de enchimento por cima.

Estes testes passam por pôr água dentro dos tubos com o objectivo de os limpar e retirar bolhas de ar existentes. Depois põe-se água glicolada e faz-se um teste de pressão com os tubos em conjunto com os colectores de distribuição.

Não havendo fugas nos tubos e estando o sistema construído, procede-se ao enchimento com solo (figura 4.50), que depende do tipo de tubos utilizados (PEX ou PE-100). No caso de se usar tubos de PE-100 é necessário colocar um leito de areia para estarem devidamente protegidos das cargas pontuais. Se forem tubos de PEX, pode-se usar o próprio solo de escavação.

Fig.4.50 – Passo de aplicação 4 – CG [63]

Neste parágrafo foram apresentados os passos principais de aplicação de sondas geotérmicas e colectores geotérmicos. Existem várias maneiras de se aplicar estes permutadores, no entanto, estes passos aqui apresentados permitem ter uma pequena ideia da sua aplicação.

Relativamente às sondas geotérmicas, no capítulo 5, será analisado um caso prático e também serão apresentados os passos da sua aplicação.

## 4.9. ZONA TÉCNICA – CASA DAS MÁQUINAS

A zona técnica, também conhecida por "casa das máquinas", é um local pertencente ao interior do edifício e é onde se encontram todas as máquinas, equipamentos e acessórios que estão entre os tipos de captação e os sistemas de distribuição.

Algumas anotações relativamente a esta zona técnica estão referidas no parágrafo 4.4.3., correspondente às implicações construtivas.

Dentro da zona técnica encontram-se vários componentes pertencentes ao sistema geotérmico, nomeadamente a bomba de calor, o depósito de AQS e de inércia, tubos, colectores de distribuição e outros componentes particulares de cada instalação.

Por este motivo a zona técnica tem que satisfazer alguns requisitos de construção. É importante que este local técnico não fique encostado a divisões delicadas (quartos e sala) por causa dos ruídos, que tenha acessos para qualquer tipo de manutenção e que seja minimamente ventilado.

O equipamento mais delicado existente na zona técnica e que caracteriza um sistema geotérmico é a bomba de calor. Sem este equipamento seria impossível usar a geotermia para as finalidades pretendidas.

### 4.9.1. BOMBA DE CALOR

A bomba de calor pode ser definida como um equipamento que recupera e transfere o calor existente no solo a pequenas ou grandes profundidades e permite de uma forma eficiente a sua reutilização para fazer a climatização (aquecimento ou arrefecimento) e a produção de AQS.

Existem vários tipos de bombas de calor geotérmicas, sendo cada uma caracterizada pela sua fonte de calor utilizável:

- Bomba de calor água/água
- Bomba de calor terra/água

A bomba de calor água/água é usada no tipo de captação de nível freático, ou seja, em sistemas abertos. Ao contrário desta, a bomba de calor terra/água é usada nos restantes tipos de captação (maioria dos casos).

Neste parágrafo será analisada apenas a bomba de calor terra/água, visto ser a mais utilizada nos aproveitamentos geotérmicos para climatização ambiente e produção de AQS e a que está presente nos casos de estudo.

No mercado existem vários modelos de bombas de calor. Na Figura 4.51 é apresentado um exemplo.

Fig.4.51 – Bomba de calor (Alfa Innotec)

#### 4.9.1.1. Princípio de funcionamento da bomba de calor / Aquecimento

A bomba de calor é uma máquina constituída essencialmente por um circuito fechado, no interior do qual é continuamente comprimido e feito expandir um fluido adequado – fluido intermédio, frigogénico ou gás refrigerante.

O esquema funcional de uma bomba de calor tem o aspecto da Figura 4.52, [54].

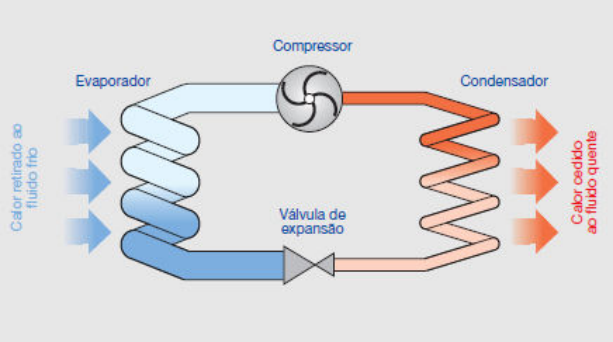


Fig.4.52 – Esquema funcional de uma bomba de calor [54]

As bombas de calor geotérmicas são máquinas que têm como base de sistema de funcionamento o ciclo de Carnot. Este sistema de funcionamento é o que rege a maior parte dos frigoríficos.

No funcionamento de um aproveitamento geotérmico dá-se a transferência de calor do solo para o líquido das sondas (água glicolada), aquecendo-o, e através de uma bomba circuladora o calor é transferido para o gás refrigerante da bomba de calor.

O circuito frigorífico existente na bomba de calor eleva a temperatura (através da compressão do gás refrigerante) e rejeita no condensador o calor útil, com um consumo eléctrico no compressor muito reduzido.

O ciclo de Carnot permite demonstrar que a bomba de calor que funciona segundo um ciclo termodinâmico e recebe energia (potência absorvida pelo compressor), permite transferir o calor da fonte fria (reservatório de baixa temperatura – solo) para a fonte quente (reservatório de alta temperatura – circuito de aquecimento). A cada compressão e expansão, isto é, a cada ciclo, o fluido intermédio retira calor da fonte fria e cede-o à fonte quente.

O principal parâmetro de caracterização de uma bomba de calor é o seu rendimento. Não é muito usual, para as bombas de calor, utilizar o parâmetro rendimento mas sim Coeficiente de desempenho ou Coeficiente de Performance (COP). O COP pode ser apresentado na seguinte fórmula:

$$COP = \frac{Energia\ útil}{Energia\ consumida} \quad (4.11)$$

Pela primeira lei da termodinâmica é possível quantificar o COP de uma bomba de calor através da temperatura proveniente da fonte fria (TL) e da temperatura de retorno à fonte quente (TH) em Kelvin.

$$COP\ (Bomba\ de\ Calor) = \frac{TH}{TH - TL} \quad (4.12)$$

O ciclo de Carnot é muito eficiente para pequenas variações de temperatura. A sua eficiência vai diminuindo à medida que aumenta a diferença de temperaturas entre a fonte fria e a fonte quente.

Devido a este motivo, no dimensionamento de sistemas de aquecimento que utilizam bombas de calor geotérmicas, deve-se ter em consideração a utilização de uma temperatura o mais reduzida possível no retorno para o sistema de aquecimento.

As bombas de calor geotérmicas utilizadas em sistemas de aquecimento apresentam valores de COP entre os 4 e 6. Para diferenciais e temperatura elevados o COP diminui, tornando outros sistemas de climatização mais eficientes. Quando existem instalações em que o COP é menor que 4, economicamente a solução já começa a deixar de ser rentável.

Os fabricantes das bombas de calor dispõem de catálogos com gráficos que permitem escolher a máquina para uma determinada potência necessária e identificar os COP´s do sistema.

Aplicando um exemplo sobre o COP, pode-se dizer que quando o COP é igual a 4, significa que para 1 kW de energia eléctrica consumida consegue-se obter 4 kW de energia térmica. Isto possibilita que, por cada unidade de energia eléctrica consumida, sejam retiradas 3 do solo. No final, por cada 4 unidades de energia que a bomba de calor fornece, apenas uma é efectivamente paga, o que significa uma poupança de 75% (Figura 4.53), [72].

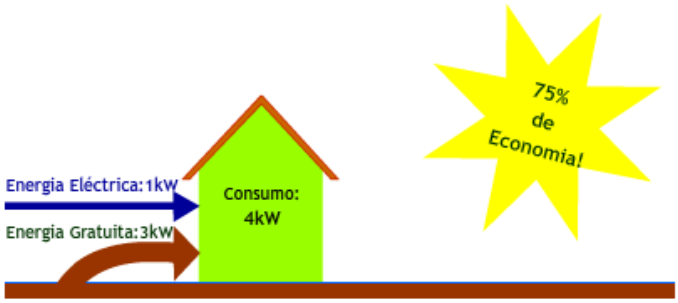


Fig.4.53 – Exemplo do COP de 4 [72]

As temperaturas máximas que se podem obter com bombas de calor são 55 °C e 65 °C.

Actualmente a maioria das bombas de calor apresenta um limite de temperatura de 55 °C devido essencialmente às características físicas e químicas dos fluidos intermédios utilizados. Este limite não causa nenhum tipo de problema nas instalações onde os terminais funcionam a baixa temperatura e onde a água quente sanitária não necessita ter mais de 48-50 °C.

No entanto se for pretendido ultrapassar estes limites, como por exemplo, obter água quente sanitária a 52-53 °C é necessário recorrer a outro tipo de bombas de calor concebidas para funcionar até aos 65 °C.

Este princípio de funcionamento apresentado é apenas para o caso de aquecimento. No entanto, num sistema de climatização, é necessário existirem os dois tipos de parâmetros de conforto, ou seja, também é importante abordar o caso do arrefecimento.

#### 4.9.1.2. Princípio de funcionamento da bomba de calor / Arrefecimento

Para o caso de arrefecimento existem duas soluções que podem ser definidas da seguinte maneira:

- Bombas de Calor Reversíveis
- Arrefecimento Passivo

As Bombas de Calor Reversíveis são máquinas que permitem inverter os ciclos de trabalho, isto é, inverter o sentido de circulação do fluido intermédio. São bombas capazes de produzir calor e frio.

Para se conseguir inverter o sentido de circulação são acoplados à bomba de calor alguns componentes, como válvula de 3 e 4 vias, que permitem obter uma emissão quente ou fria.

As bombas que funcionam com o arrefecimento passivo são bombas iguais às apresentadas no parágrafo 4.9.1.1, ou seja, é possível utilizar directamente a fonte fria para se fazer o arrefecimento.

É importante salientar que o arrefecimento passivo se torna eficiente com o uso do pavimento radiante como sistema de distribuição para fazer a climatização. A justificação de se usar o pavimento radiante para o arrefecimento passivo é uma característica deste sistema de distribuição e que será demonstrada no parágrafo 4.10.1..

Ao usar este tipo de instalação é necessário contar com adequados sistemas de regulação e de desumidificação.

Os aspectos positivos nas instalações com arrefecimento passivo são, sobretudo, económicos, pois apresentam baixos custos de gestão. Na prática, os custos a suportar são os da energia eléctrica consumida pelas bombas de circulação.

Pelo contrário, os aspectos negativos dizem respeito aos rendimentos destas instalações. As temperaturas das fontes externas podem ter variações sazonais consideráveis e, sobretudo, nos períodos mais quentes, não permitir um arrefecimento e desumidificação adequados.

#### 4.9.1.3. Bomba de calor / AQS

Existem actualmente duas maneiras de se fazer a incorporação do sistema de AQS com a bomba de calor.

Quando se opta por um sistema geotérmica para fazer a climatização e produção de AQS de um edifício, é comum usar a mesma bomba de calor para as duas finalidades.

No projecto de térmica do edifício é possível analisar os valores das necessidades energéticas para o aquecimento e para produção de AQS. O que acontece na maioria dos edifícios é que a potência necessária para o aquecimento é superior relativamente à potência necessária para as AQS.

Neste caso deve ser escolhida uma bomba de calor para a situação mais desfavorável das necessidades (valor mais elevado), que normalmente corresponde à necessidade de aquecimento.

Este tipo de opção de dimensão pode levantar algumas dúvidas, relativamente à situação de se usar o aquecimento e as AQS em simultâneo. Em instalações domésticas ou comerciais, normalmente é dada a prioridade à produção de água quente, relativamente ao aquecimento ambiente.

No caso de o edifício ter um sistema de distribuição com pavimento radiante, este problema não é sentido, pois o aquecimento é feito de uma maneira homogénea, implicando a não perda de rendimento do sistema.

Para que esta prioridade de funcionamento das AQS relativamente ao da climatização tenha sucesso, é utilizada uma válvula de 3 vias, que comuta do circuito de aquecimento centralizado no balão de inércia (ou depósito de inércia) para a produção de águas sanitárias (Figura 4.54), [73].

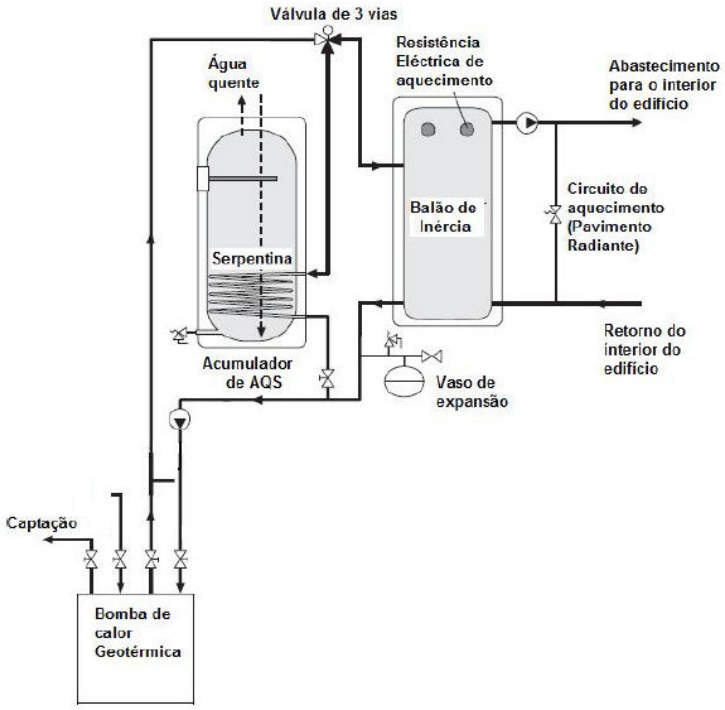


Fig.4.54 – Esquema representativo de produção de AQS utilizando uma válvula de 3 vias (Stene, 2004)

No caso de haver necessidade de usar máquinas com grandes potências é necessário ter um depósito para as AQS exterior à bomba de calor. Se a máquina for de pequena potência, já existem no mercado bombas de calor com os depósitos incorporados.

A vantagem de se ter o depósito incorporado na bomba de calor é o facto do espaço que ocupa ser menor.

Como já foi dito anteriormente quando se opta por um sistema geotérmico para se fazer a climatização ambiente e a produção de AQS é usual haver uma combinação de fontes de energias renováveis. As energias renováveis são a geotérmica e a solar.

O sistema é calculado de maneira a aproveitar de uma forma eficiente as duas fontes de energias renováveis, ou seja, a instalação final é feita com a conjugação de painéis solares e bomba de calor geotérmica.

Na fase de projecto, na altura da escolha do tipo de bomba a usar no edifício, devem ser consideradas as situações mais desfavoráveis, ou seja, a temperatura mais elevada prevista para a fonte quente (sistema de aquecimento utilizado) e a mais baixa para a fonte fria (sistema que capta a energia). Apenas desta forma não existe o risco de se realizar um mau dimensionamento para o projecto em estudo.

### 4.9.2. OUTROS COMPONENTES

Estes componentes podem ser o balão de inércia, vasos de expansão, válvulas, termómetros, hidrómetros, etc. Visto serem componentes muito específicos de cada tipo de instalação e que têm diferentes formas de análise, não são detalhadas as suas características, pois fogem do interesse desta dissertação.

## 4.10. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

As bombas de calor apresentam maior coeficiente de performance (COP) com a diminuição da diferença de temperatura entre a fonte fria e a fonte quente, logo, é conveniente aquecer com temperaturas baixas.

Existem vários sistemas de distribuição que permitem fazer a climatização de um edifício com temperaturas baixas e que diferem essencialmente pelos valores da temperatura de envio nos circuitos.

Em seguida será apresentado o Quadro 4.10 onde é possível verificar as temperaturas no circuito de envio para os diferentes sistemas de aquecimento interior.

Quadro 4.11 – Valores requeridos para as temperaturas de envio nos circuitos, em diferentes sistemas de distribuição

| Sistema de Distribuição | Pavimento Radiante | Ventiloconvectores | Convectores | Radiadores |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura | 35-45 ℃ | 40-50 ℃ | 45-55 ℃ | 60-80 ℃ |

### 4.10.1. PAVIMENTO RADIANTE

O pavimento radiante é um sistema de distribuição destinado para fazer a climatização de um edifício, ou outro espaço idêntico, e a sua configuração tem o aspecto da Figura 4.55..

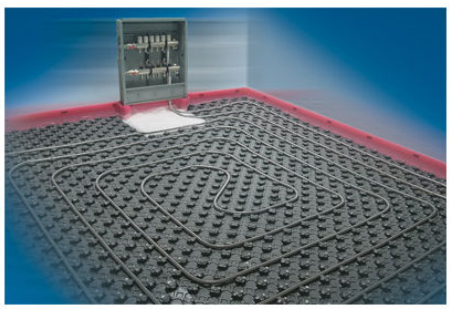

Fig.4.55 – Pavimento radiante (Uponor, 2011)

Os sistemas de pavimento radiante a baixa temperatura são uma técnica muito antiga, sendo já utilizados pelos romanos. Os romanos utilizavam um pavimento térreo falso, sob o qual passava vapor, que por sua vez era transferido por condensação para o interior das construções. Durante os tempos a técnica foi sofrendo alterações e hoje torna-se bastante vantajosa a sua utilização, nas finalidades apresentadas ao longo da dissertação.

Actualmente o pavimento radiante torna-se como um dos sistemas de climatização mais eficiente a usar com uma bomba de calor pois funcionam a baixas temperaturas, como é possível ver pelo Quadro 4.11.

Estes sistemas podem apresentar emissões até 60 W/m$^2$, sem se ultrapassar o limite de 29 °C na superfície do pavimento, imposto pela norma europeia EN-1264-4, para temperaturas de envio entre os 35 °C e os 45 °C, [74].

As temperaturas obtidas nos pavimentos radiantes não correspondem às temperaturas no interior dos edifícios. Existe uma relação entre a temperatura interior em função da carga térmica e da temperatura máxima superficial do pavimento (Figura 4.56), [75].

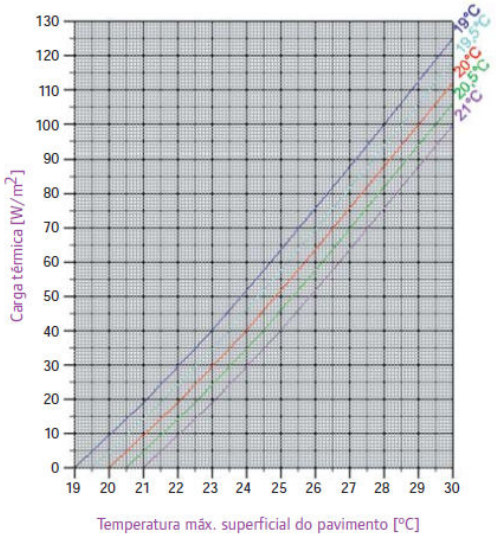


Fig.4.56 – Relação entre temperaturas e carga térmica [75]

A temperatura óptima dos pavimentos radiantes situa-se entre os 24 e os 27 °C, o que corresponde a uma transferência de calor entre os 35 e 60 W/m$^2$, sendo possível obter-se uma uniformidade na temperatura do pavimento, [76].

Sob o ponto de vista ambiental, ao usar baixas potências caloríficas para o seu funcionamento e a sua versatilidade em adequação a fontes de produção de energia renovável, este é um sistema que se adequa às exigências de redução das emissões de $CO_2$.

O pavimento radiante é constituído essencialmente por tubos distribuídos em espiral (Figura 4.55) sobre o piso do local onde se pretende climatizar. Estes tubos podem ser de PEX, PE-100 ou multicamadas PE-rt e o seu diâmetro varia entre os 16 e 20 mm.

Uma nota importante a salientar é a maneira como é influenciada a temperatura no circuito de distribuição, que depende directamente dos seguintes aspectos:

- Área exterior lateral da tubagem do circuito;
- Distanciamento entre tubos;
- Resistência térmica dos elementos que se encontram sobre a tubagem;
- Resistência térmica entre a tubagem;
- Temperatura requeridas no circuito;
- Temperaturas pretendidas no ambiente interior do edifico.

Para serem obtidas temperaturas uniformes nas superfícies dos pavimentos, o diferencial de temperaturas entre o envio e o retorno do circuito deve ser mantido abaixo de 5 °C.

Como já foi referido, quanto mais reduzidas forem as temperaturas de emissão transmitidas pela fonte de calor (circuito de aquecimento), mais elevado é o COP global do sistema.

Por este motivo é que o arrefecimento passivo se torna bastante eficiente, pois as temperaturas de emissão pela fonte de calor são baixas (pretende-se arrefecer), o que faz baixar o diferencial de temperatura entre a fonte fria e a quente. No arrefecimento passivo conseguem-se atingir COP´s na ordem dos 60.

No entanto, no processo de aquecimento, para se obter COP´s admissíveis de eficiência do sistema, também é possível usar uma técnica que passa por aumentar a área de dissipação da tubagem do pavimento com a ajuda de dissipadores metálicos (de alta emissividade). Esta técnica permite reduzir as temperaturas de emissão do pavimento, logo, aumentando o COP.

Este sistema é controlado por termóstatos que ficam instalados estrategicamente no interior dos compartimentos do edifício. Um deles é colocado à saída do circuito de envio integrado no controlador da bomba de calor, sendo este o que introduz a compensação relativamente à temperatura exterior. À medida que a diferença de temperatura entre o sistema do pavimento radiante e a temperatura ambiente é diminuída, a taxa de transferência de calor também o é, introduzindo um efeito de auto-regulação, [77].

Deste modo é possível ter temperaturas inferiores a 30 °C no envio para o circuito de aquecimento, o que torna benéfico para o COP do sistema.

Existem diversas técnicas de aplicação do pavimento radiante. No próximo capítulo, no estudo de caso, será analisado em detalhe a aplicação de um pavimento radiante.

Para se ter uma percepção da climatização uniforme do pavimento radiante são apresentados na Figura 4.57 os respectivos perfis de temperaturas do corpo humano, de acordo com os sistemas de distribuição apresentados.

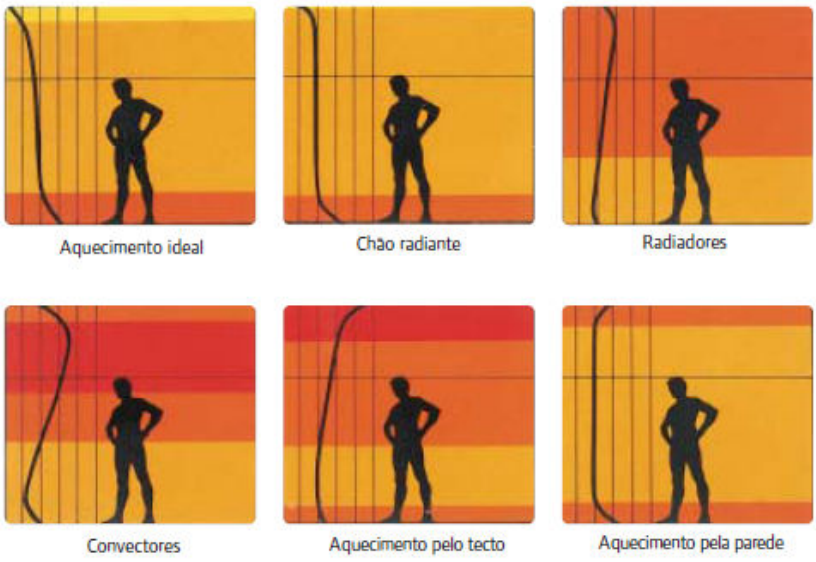


Fig.4.57 – Perfis de temperatura para os diversos sistemas de distribuição (função aquecimento) [78]

Analisando a Figura 4.57 é possível observar que de todos os sistemas de aquecimento apresentados, o pavimento (ou chão) radiante é o que melhor se ajusta ao perfil de temperatura ideal. Este perfil é aquele, segundo o qual, a temperatura do ar à altura dos pés é ligeiramente superior à temperatura do ar à altura cabeça. Isto resulta numa maior sensação de conforto do utilizador.

São inúmeras as reacções existentes ao usar sistemas de pavimento radiante, entre as quais:

- Pés quentes
- Aquecimento e arrefecimento uniforme
- Sem correntes de ar
- Aquecimento invisível

Pés quentes

Sente-se uma sensação de maior conforto, quando os pés se encontram a uma temperatura levemente superior à da cabeça. Este efeito consegue-se com o aquecimento por pavimento radiante gerando no chão temperaturas inferiores a 30 °C.

Aquecimento e arrefecimento uniforme

O emissor térmico é todo o chão da área. Desta forma, consegue-se um calor agradável e uniforme face ao fenómeno das zonas quentes e zonas frias, que se obtêm com outros sistemas de aquecimento nos quais existe um número limitado de emissores.

Sem correntes de ar

Como a temperatura da superfície do pavimento é baixa (inferior a 30 °C), o movimento do ar quente (convecção) é imperceptível. Com a ausência de movimento de ar há também menos movimento de pó, proporcionando-se um ambiente mais higiénico e saudável.

Aquecimento e arrefecimento invisível

Consegue-se um maior espaço habitável, ao não utilizar sistemas de aquecimento visíveis (por exemplo radiadores), assim como também deixa de existir o risco de golpes ou queimaduras por contacto com eles.

É um sistema de aquecimento que oferece total liberdade de decoração de interiores. Pode dizer-se que é um aquecimento invisível.

### 4.10.2. VENTILOCONVECTORES

Os ventiloconvectores são equipamentos que pertencem aos sistemas de distribuição que são usados em sistemas geotérmicos, para fazer a climatização de um edifício.

Estes equipamentos têm diversas formas, consoante as marcas, no entanto o seu aspecto é, regra geral, muito semelhante ao que é apresentado na Figura 4.58.

Fig.4.58 – Ventiloconvector (Jaga, 2011)

Estes equipamentos são instalados no interior dos edifícios, nas divisões onde se pretende climatizar, podendo ficar suspensos na parede ou junto ao tecto.

Actualmente já existem ventiloconvectores que podem ficar embutidos no tecto ou na parede, podendo ficar apenas à mostra uma grelha por onde é feita a emissão de ar. Este sistema apresenta custos mais elevados que os exteriores aos elementos, pois apresentam algumas implicações construtivas mais exigentes.

As Figuras 4.59 e 4.60 mostram uma aplicação de ventiloconvectores embutidos nos elementos construtivos.

Fig.4.59 – Ventiloconvector embutido na parede

Fig.4.60 – Ventiloconvector embutido no tecto

Quando de opta por embutir estas máquinas é necessário fazer um reforço de isolamento acústico, pois são máquinas que fazem algum ruído, podendo tornar-se incómodo para o utilizador.

Contrariamente ao pavimento radiante, os ventiloconvectores são extremamente rápidos a atingir a temperatura pretendida, quer seja para arrefecer ou aquecer.

Enquanto no pavimento radiante o aquecimento e arrefecimento são feitos de uma forma mais suave e homogénea, onde não há libertação ar, a climatização que resulta da acção dos ventiloconvectores é feita de uma forma directa, onde há expulsão de ar. No entanto, ao contrário dos sistemas de ar condicionado convencionais, os ventiloconvectores movimentam o ar de uma forma silenciosa e confortável. O ar libertado sofre antes um processo de filtração (através de um filtro que se encontra dentro das máquinas), fazendo com que este apresente características saudáveis.

O ventiloconvector é constituído por uma "bateria" e um "ventilador", situado por baixo dessa mesma bateria, forçando a circulação do ar ambiente. Pela "bateria" circula água quente ou arrefecida, dependendo da temperatura desejada para o compartimento a climatizar. A água pode ser aquecida e arrefecida através de uma bomba de calor geotérmica, [79].

Para evitar as condensações no interior do edifício, estes sistemas já são concebidos de maneira a evitar esse problema Por este motivo, a construção deste tipo de sistema de distribuição implica a instalação de uma rede de esgotos nos locais onde são incorporadas as máquinas.

Como é possível ver pelo Quadro 4.10, os ventiloconvectores não necessitam de temperatura de envio nos circuitos tão elevada como os radiadores para fazer o aquecimento, logo, o custo é mais reduzido.

Num sistema geotérmico, é possível incorporar vários sistemas de distribuição no mesmo edifico. Ou seja, tendo uma bomba de calor (neste caso geotérmica) é possível ter também pavimento radiante e ventiloconvectores a fazerem a climatização do edifício de uma forma eficiente. A eficiência está na gestão da prioridade do uso dos respectivos sistemas.

### 4.10.3. OUTROS EQUIPAMENTOS

Existem outros equipamentos capazes de fazer o aquecimento e arrefecimento usando uma bomba de calor geotérmica. No entanto, não são os mais indicados, uma vez que apresentam temperaturas muito elevadas no circuito de envio para os equipamentos (radiadores e convectores).

# 5

# CASO DE ESTUDO – MORADIA NO PORTO

## 5.1. IMPLANTAÇÃO DA MORADIA EM ESTUDO

A moradia que foi objecto de estudo nesta dissertação situa-se no concelho do Porto, freguesia do Bonfim, numa propriedade denominada já há muitos anos por Quinta dos Cepêdas ou Quinta Amarela (Figura 5.1).

Fig.5.1 – Localização geográfica da moradia

A moradia está inserida num condomínio fechado tendo este quatro frentes: Avenida dos Combatentes, Rua de Bartolomeu Dias, Rua de Oliveira Martins e Rua de Agostinho de Campos.

Na Figura 5.1 é possível ter uma percepção da fracção do terreno onde está a ser construído o condomínio fechado, tendo sido este composto por uma vasta área de jardim, três casas antigas e envolvido por um muro de pedra em toda a volta com uma altura de 3 metros.

Na Figura 5.2 é apresentada a delimitação de todo o terreno com a implantação da construção prevista para o mesmo.

Fig.5.2 – Delimitação do terreno

## 5.2. ARQUITECTURA

O projecto de arquitectura executado neste condomínio fechado é da autoria do Arquitecto Souto Moura.

Antes de referir as partes constituintes deste projecto, é importante salientar o que existia no terreno inicialmente, pois alguns elementos arquitectónicos existentes foram aproveitados para a construção do novo condomínio fechado.

### 5.2.1. ANÁLISE DO TERRENO E EDIFICAÇÃO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO FECHADO

Antes de iniciar o projecto de arquitectura para o terreno em questão, foi feito um levantamento do que existia no mesmo e quais as vantagens que se poderiam tirar quer a nível estético, quer histórico e económico.

Inicialmente o terreno era composto por três casas, um lago, uma gruta e uma vasta área verde composta por várias árvores centenárias. Analisadas as vantagens que se poderiam tirar do terreno, houve aspectos de análise bastante delicados ao nível das casas existentes e das árvores centenárias.

A nível estrutural, as casas existentes eram compostas essencialmente por pedra, observando-se um bom estado de conservação de alguns elementos construtivos, nomeadamente as paredes (Figura 5.3).

Fig.5.3 – Fachada de uma das casas existentes

Como é possível ver na Figura 5.3 as casas existentes caracterizam-se por uma arquitectura do início do século passado.

Na Figura 5.4 é possível observar a constituição das paredes e qual o seu estado inicial.

Fig.5.4 – Paredes em pedra

No terreno existiam dois elementos paisagísticos, que apesar de mostrarem indicações de inutilização já há vários anos, apresentavam um estado de conservação adequado para o seu tempo de existência: um lago e uma gruta artificial construídos em pedra – sendo esta última visível na Figura 5.5.

Fig.5.5 – Gruta artificial

Por fim, no terreno onde se desenvolve a construção do condomínio fechado, também existiam árvores centenárias. Umas encontravam-se num estado bastante degradado e outras apresentavam um estado de conservação mediano, onde um tratamento específico poderia trazer de volta as suas finalidades estéticas e ambientais.

Na Figura 5.6 é mostrada a parte interior da Quinta dos Cepêdas, onde é possível ver-se uma parte da área de jardim e algumas árvores.

Fig.5.6 – Jardim e árvores centenárias

No entanto, nem tudo o que há a mais num terreno pode ser vantajoso. As casas existentes e algumas árvores centenárias trouxeram alguns problemas na concepção do projecto como um todo.

### 5.2.2. EXECUÇÃO DO PROJECTO DE ARQUITECTURA

A execução do projecto de arquitectura para esta propriedade teve várias influências próprias do arquitecto e uma delas foram os aspectos enunciados no parágrafo anterior. Assim, os elementos existentes inicialmente no terreno tiveram um peso na preparação do projecto de arquitectura.

O projecto de arquitectura final consiste nos seguintes objectivos:

- Construção de 15 moradias;
- Reabilitação das casas existentes para a construção de habitações;
- Reabilitação da gruta e do lago;
- Utilização de algumas árvores centenárias.

Relativamente à reabilitação das casas existentes, o único elemento que foi aproveitado foram algumas paredes, que eram constituídas por pedra. Os outros elementos que constituíam as casas existentes encontravam-se completamente deteriorados, não sendo possível a sua reutilização ou a sua reabilitação.

As casas foram reabilitadas para a construção de 12 fracções.

Um aspecto a salientar é o facto de a reabilitação das casas existentes não ter sido unicamente opção do arquitecto. Houve também uma acção obrigatória pela lei vigente, que obrigava à utilização das casas, assim como dos seus elementos em melhor estado, para uma possível reconstrução do local.

A reabilitação do lago e da gruta foram meramente opções do arquitecto.

A utilização das árvores teve alguns problemas. Em primeira análise, algumas aparentavam um aspecto saudável mas as suas raízes não estavam em boas condições, o que colocava em causa questões de segurança da nova implantação. No final, algumas árvores tiveram que ser retiradas pelas más condições que apresentavam e outras foram transplantadas pelo motivo da implantação dos elementos estruturais no terreno.

Além destes elementos apresentados, foram também projectadas 15 moradias e uma sala de condomínio comum (Figura 5.7).

Fig.5.7 – Implantação do projecto de arquitectura

A elaboração do projecto de arquitectura foi desenvolvida sempre em sincronização com cada especialidade de modo a tornar a sua execução a melhor possível.

Nesta fase houve uma exigência por parte do dono de obra relativamente à utilização de energias renováveis em todas as habitações, de modo a torná-las mais eficientes. Foi precisamente nesta fase que se tomou a opção de usar a geotermia para fazer a climatização ambiente e o aquecimento das águas sanitárias.

Tomada esta decisão numa fase inicial, houve implicações na execução do projecto de arquitectura, uma vez que esta tecnologia tem exigências próprias (referidas no Capítulo 4).

Um dos objectivos desta dissertação é precisamente fazer a análise do trajecto da aplicação desta tecnologia, desde a fase de projecto até à execução do mesmo. O estudo incide particularmente sobre uma das moradias construída no local.

Todas as moradias existentes na propriedade são do tipo geminadas, como é possível ver pelas Figuras 5.7 e 5.8.

Fig.5.8 – Vista aérea das moradias H1, H2 A, H3, H4, H2 B e H5

A moradia em análise é a que corresponde na implantação do projecto de arquitectura com a denominação de H2 A e está inserida entre outras moradias iguais.

A moradia H2 A é um fogo de tipologia T4 duplex, com uma área total de construção de 286,5 $m^2$.

Nas figuras seguintes serão apresentados os desenhos de arquitectura da moradia em análise, com a correspondente caracterização dos locais.

A Figura 5.9 corresponde ao piso 0, onde estão algumas divisões da habitação, como três quartos, a sala comum, três quartos de banho, a cozinha, o elevador e os respectivos halls.

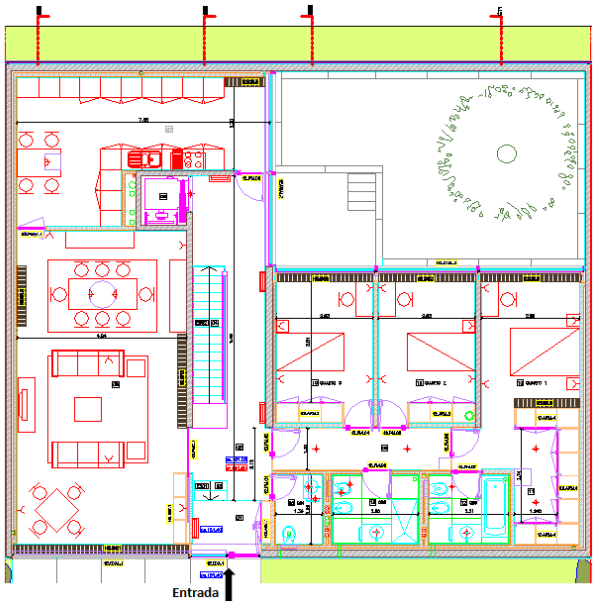


Fig.5.9 – Planta da moradia H2 A / piso 0

A entrada na moradia é feita pelo piso 0 e a sua fachada principal está virada a nascente. Como já foi referido no capítulo anterior, o ideal na implantação dos edifícios é ficarem colocados com a fachada

principal virada a sul mas, por motivos arquitectónicos, essa exigência não foi possível de se concretizar.

No Quadro 5.1 apresentam-se as áreas de cada compartimento que compõe cada piso.

Quadro 5.1 – Área dos compartimentos do piso 0

| **Compartimentos** | **Área ($m^2$)** |
|---|---|
| Piso 0 | |
| Quarto 1 | 25 |
| Quarto 2 | 13 |
| Quarto 3 | 13 |
| Cozinha | 24 |
| Elevador | 2 |
| Sala comum | 52 |
| WC 1 | 2.9 |
| WC 2 | 5 |
| WC 3 | 4.7 |
| Hall dos quartos | 6.3 |
| Hall de distribuição | 16 |
| Hall de entrada | 2.5 |

Na Figura 5.10 será apresentado o piso -1 da moradia (piso subterrâneo).

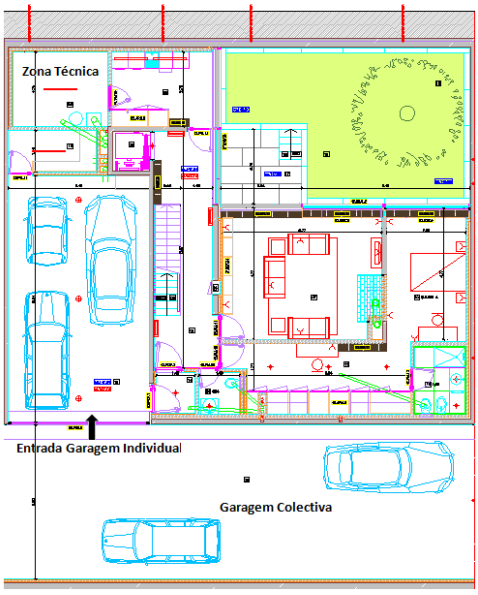


Fig.5.10 – Planta da moradia H2 A / piso -1

O piso -1 da moradia é constituído por um quarto, uma sala de estar, um jardim interior que tem a denominação de "pátio inglês", a lavandaria, dois quartos de banho, a zona técnica (casa das máquinas), o elevador, a garagem individual, um pátio e os arrumos.

Como é possível ver na Figura 5.10, a entrada para a garagem individual é feita pelo piso -1. Isto deve-se ao facto de, por razões meramente arquitectónicas, não haver circulação de veículos à superfície (ou seja, no piso 0). No empreendimento, todo os veículos circulam pelo piso subterrâneo, daí a entrada nas garagens de cada uma das habitações existentes, ser feita no piso -1.

As áreas referentes ao piso -1 estão apresentadas no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Área dos compartimentos do piso -1

| **Compartimentos** | **Área ($m^2$)** |
|---|---|
| Piso -1 | |
| Quarto 4 | 29 |
| Sala de estar | 28 |
| Lavandaria | 11 |
| WC 4 | 3.5 |
| WC 5 | 4.4 |
| Jardim interior | 37 |
| Zona técnica | 9.3 |
| Garagem | 46 |
| Arrumos | 5 |
| Elevador | 2 |
| Pátio | 9 |
| Câmara corta-fogo | 3 |

É também no piso -1 que está localizada a zona técnica. Como foi na fase da elaboração do projecto de arquitectura que se optou pelo uso da geotermia para a climatização ambiente e a produção de AQS, levou a planear-se um local técnico para as exigências do uso desta tecnologia.

A zona técnica foi projectada para ser um local onde estivessem todos os equipamentos e respectivas máquinas que fizessem a alimentação do edifício em termos de climatização e AQS. Ou seja, além dos equipamentos e máquinas relativos à geotermia, também estão os equipamentos necessários para o painel solar.

Relativamente à sua localização espacial na moradia, foi projectada no piso -1 junto aos arrumos e à garagem individual, sem proximidade de espaços delicados, como salas ou quartos. Este aspecto é tido em conta sempre que haja essa possibilidade, pois nem sempre é possível localizar no edifico um espaço que cumpra esta exigência.

Por fim, o piso 1 corresponde à cobertura do edifício, sendo plana e não acessível (Figura 5.11).

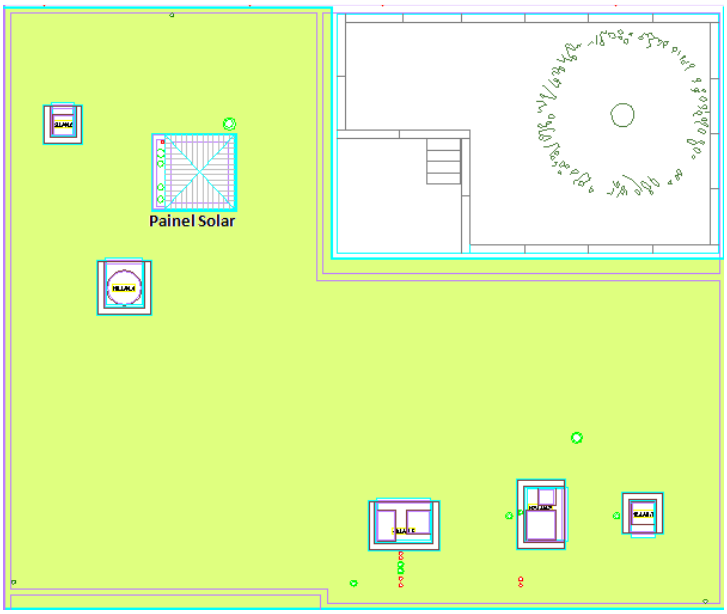


Fig.5.11 – Planta da moradia H2 A / cobertura

Como é possível observar na Figura 5.12, existem na cobertura várias clarabóias que permitem a entrada de luz natural (para os três quartos existentes no piso 0, na sala comum e na cozinha) e o local onde vai ser colocado o painel solar (Figura 5.13).

Fig.5.12 – Clarabóias existentes na cobertura

Fig.5.13 – Painel solar colocado na cobertura

O painel solar vai ser colocado quase na horizontal, tendo apenas uma pequena inclinação por motivos de eficiência do seu funcionamento e por ter sido esta a escolha do arquitecto.

Um pormenor a salientar nas coberturas de todas as moradias é o facto de serem todas ajardinadas, de modo a obter-se um conjunto de benefícios, entre os quais: [80]

- Melhoram o isolamento térmico e acústico dos edifícios, promovendo a redução do consumo energético;
- Ajudam na redução da poluição sonora e na absorção e filtragem de gases poluentes e de partículas em suspensão na atmosfera;
- Contribuem para a redução do efeito "ilha de calor" que se verifica nas cidades;
- Promovem a redução do efeito de estufa, através da absorção do dióxido de carbono e restabelecimento de pequenas quantidades de oxigénio na atmosfera;
- Maximizam o aproveitamento de águas pluviais, podendo reter um volume considerável da precipitação, diminuindo assim o risco de inundações;
- Protegem as estruturas dos edifícios, contribuindo para um aumento do tempo de vida dos sistemas de impermeabilização;
- Retarda, em caso de incêndio, a propagação do fogo na cobertura;
- Contribuem para a valorização do edifico:
    - Contribuem para a redução do impacto das construções sobre a natureza, proporcionando às plantas e animais um habitat natural;
    - Aumentam a área verde por habitante, promovendo novas áreas privadas ou publicas de socialização e recreio nas cidades;
    - Promovem o aumento da biodiversidade e dos nichos ecológicos de uma cidade;
    - Contribuem para a sustentabilidade dos edifícios e cidades;

O uso das coberturas ajardinadas dos edifícios permite ter vantagens ambientais, económicas, de conforto e estéticas.

Para uma melhor compreensão da arquitectura da moradia, também é apresentada a Figura 5.14 correspondente ao alçado nascente.

As moradias existentes neste empreendimento são do tipo geminadas, tendo a maioria apenas duas fachadas. As moradias que estão localizadas nos extremos são constituídas por três fachadas. Estas observações são notadas pela análise da Figura 5.7.

No caso da moradia em estudo, o alçado principal corresponde à fachada principal virada a nascente e a fachada de tardoz é constituída unicamente por uma parede.

A figura seguinte é referente ao alçado principal que corresponde à entrada na moradia no piso 0 e à entrada na garagem individual no piso -1.

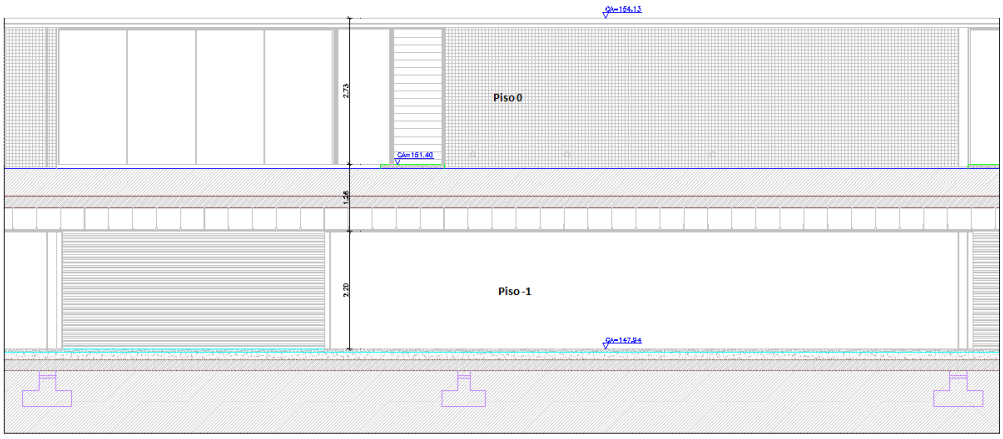


Fig.5.14 – Alçado nascente moradia H2 A / Piso 0 e -1

A Figura 5.15 é referente ao alçado nascente no piso 0, ou seja, à entrada principal da moradia, onde existem as janelas correspondentes à sala e à entrada da moradia.

Fig.5.15 – Alçado moradia H2 A / Piso 0

Também é possível analisar na Figura 5.16 a entrada na garagem individual, assim como, a garagem colectiva de circulação de veículos.

Fig.5.16 – Garagem colectiva e respectiva entrada na garagem individual

É possível observar pela análise de todas as plantas da moradia que a fachada principal não é o único local onde existe uma larga quantidade de janelas que permitem fazer o aproveitamento solar. Na moradia existe também um jardim interior ("Pátio Inglês"), ao qual todos os quartos, a sala de estar, a cozinha, a lavandaria e um dos halls dão acesso através de janelas. A abertura existente na cobertura sobre o jardim permite a entrada de luz natural na moradia.

É possível observar este aspecto através de algumas imagens aéreas e da cobertura (Figura 5.17).

Fig.5.17 – Vistas aéreas e da cobertura sobre o jardim interior

Os quartos e a sala de estar estão virados a sudoeste e a cozinha, o hall e a lavandaria estão virados a noroeste.

É possível ver na Figura 5.17 que existem divisões da moradia, nomeadamente os quartos e a sala de estar, que estão favorecidos pela luz solar.

Apresentado o alçado que fica a nascente e que corresponde à fachada principal, é apresentado na Figura 5.18 o outro único alçado existente – o alçado poente.

Fig.5.18 – Alçado poente moradia H2 A

Como é possível ver na Figura 5.18 o alçado poente não tem qualquer pormenor, sendo simplesmente composto por uma parede de betão. A imagem apenas mostra o piso 0, pois o piso -1 encontra-se enterrado. No entanto, o alçado também é constituído por uma parede de betão.

## 5.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS

Neste capítulo será feita uma apresentação dos passos que consistiram na implementação da geotermia na moradia em questão, para finalidades já enunciadas, ou seja, a climatização ambiente e o aquecimento das águas sanitárias.

Serão apresentados todos os aspectos necessários para a implementação de um sistema geotérmico na moradia, entre os quais:

- Térmica do edifício;
- Tipo de captação;
- Bomba de calor geotérmica;
- Sistemas de distribuição;

É objectivo desta dissertação fazer a análise de todos os aspectos da aplicação geotérmica, assim como, detalhar os métodos e técnicas usadas neste caso prático.

Neste caso específico foi usada a fonte de energia renovável geotermia para fazer a climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e apoio às AQS. Para a produção das águas quentes sanitárias em todo o empreendimento, é usada a energia solar que faz o complemento com a geotermia, dando-se sempre prioridade ao aproveitamento solar.

Neste caso, o painel solar faz apenas o aquecimento das águas sanitárias. No entanto, há casos em que pode fazer também o aquecimento ambiente em conjugação com o aproveitamento geotérmico.

Será apenas detalhado o caso da geotermia, visto ser o objectivo desta dissertação.

De uma maneira muito simplificada, pode-se dizer que a moradia em estudo usa o tipo de captação vertical com sondas geotérmicas, tem uma bomba de calor geotérmica terra/água e usa o piso radiante e os ventiloconvectores (pré-instalação) como sistemas de distribuição.

Nos próximos subcapítulos serão detalhados todos os pormenores relativamente ao sistema adoptado na moradia.

É importante referir que o dono de obra facultou todas as condições para ser possível fazer aqui uma apresentação real do caso de estudo, permitindo o contacto com todas as pessoas e empresas responsáveis.

Todos os valores e métodos apresentados são os utilizados pelas empresas que estão presentes nesta obra e por isso, não se fará qualquer crítica de interpretação ou contestação, pois não é objectivo desta dissertação.

## 5.4. ESTUDO TÉRMICO DA MORADIA

Foi feito um estudo térmico para a moradia em questão com o intuito de chegar aos valores das necessidades energéticas, pois são estes os primeiros valores necessários para a o início do estudo.

O estudo térmico da moradia foi elaborado de acordo com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico em Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril.

### 5.4.1. BASES DE DIMENSIONAMENTO

Apresentam-se em seguida, de forma extremamente sucinta, as bases de dimensionamento (condições térmicas, características construtivas da envolvente exterior e interior e condições de funcionamento) consideradas para o dimensionamento dos sistemas mecânicos de climatização da moradia H2 A.

#### 5.4.1.1. Condições Exteriores

Foram tomadas como condições exteriores de referência os valores apresentados no Quadro 5.3 e que constam no regulamento RCCTE e no RSECE, que inserem a cidade do Porto na zona climática I2 V1N.

Quadro 5.3 – Propriedades do ar exterior

| Propriedades Ar | Temperatura Bolbo Seco [°C] | Temperatura Bolbo Húmido Coincidente [°C] |
|---|---|---|
| Inverno | 0 | - |
| Verão | 31 | 21,6 |

#### 5.4.1.2. Condições Interiores

No Quadro 5.4 apresentam-se as propriedades do ar interior utilizadas para o cálculo das cargas térmicas dos espaços onde se previu condicionamento.

Quadro 5.4 – Propriedades do ar interior

| Funcionamento | Temperatura [°C] | Humidade [%] |
|---|---|---|
| Aquecimento | 20 | - |
| Arrefecimento | 24 | 50 |

#### 5.4.1.3. Envolvente do Edifício

O cálculo das potências de aquecimento foi obtido com base nos dados disponibilizados no Projecto de Arquitectura.

Apresenta-se nas imagens e nos quadros seguintes a descrição dos elementos construtivos da envolvente exterior, da envolvente interior e dos vãos envidraçados, correspondentes à moradia em estudo.

Cobertura Exterior Plana

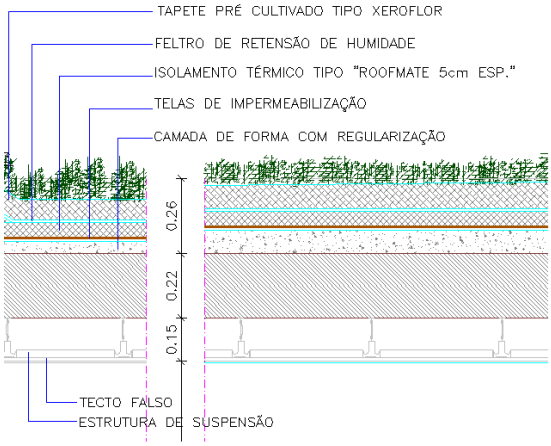


Fig.5.19 – Elemento construtivo / Cobertura Exterior Plana

Quadro 5.5 – Cobertura Exterior Plana

| **Material** | **Esp. [cm]** | **P [kg/m3]** | **R [($m^2$.ºC)/W]** |
|---|---|---|---|
| Terra Vegetal | 12 | 1800 | 0,11 |
| Isolamento XPS | 5 | 30 | 1,35 |
| Camada de regularização | 10 | 1700 | 0,08 |
| Betão Armado | 22 | 1700 | 0,11 |
| Gesso Cartonado | 1,5 | 800 | 0,06 |
| $U_{cob}$ = 0,49 [W/$m^2$.ºC] | | | |

Parede Exterior

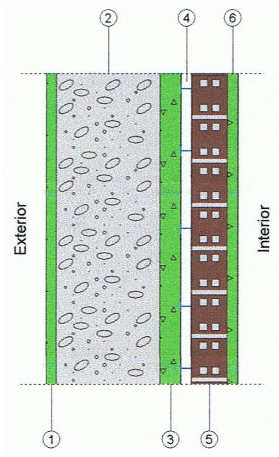


Fig.5.20 – Elemento construtivo / Parede Exterior

Quadro 5.6 – Parede Exterior

| Material | Esp. [cm] | P [kg/m3] | R [(m$^2$.ºC)/W] |
|---|---|---|---|
| 1 – Reboco | 2 | 2000 | 0,02 |
| 2 – Betão 1 | 20 | 1700 | 0,1 |
| 3 – Poliestireno extrudido | 4 | 1000 | 0,95 |
| 4 – Caixa-de-ar | 2 | | 0,18 |
| 5 – Tijolo cerâmico furado | 7 | 1000 | 0,19 |
| 6 – Reboco | 2 | 1000 | 0,02 |
| $U_{Pext1}$ = 0,61 [W/m$^2$.ºC] | | | |

Parede Interior 1 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

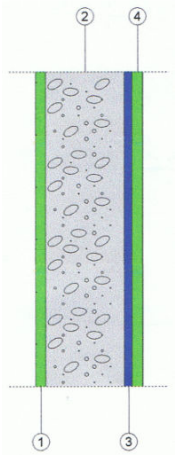


Fig.5.21 – Elemento construtivo / Parede Interior 1 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

Quadro 5.7 – Parede Interior 1 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

| Material | Esp. [cm] | P [kg/m3] | R [(m$^2$.ºC)/W] |
|---|---|---|---|
| 1 – Reboco | 2 | 2000 | 0,02 |
| 2 – Betão 4 | 15 | 1700 | 0,08 |
| 3 – Poliestireno extrudido | 1,5 | 14 | 0,36 |
| 4 – Reboco | 2 | 1000 | 0,04 |
| $U_{PintNU}$ = 1,35 [W/m$^2$.ºC] | | | |

Parede Interior 2 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

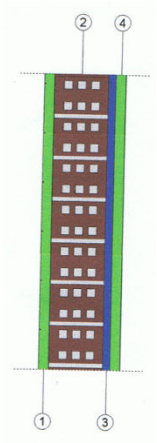


Fig.5.22 – Elemento construtivo / Parede Interior 2 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

Quadro 5.8 – Parede Interior 2 de separação de espaços úteis com não úteis (garagem)

| **Material** | **Esp. [cm]** | **P [kg/m3]** | **R [(m$^2$.ºC)/W]** |
|---|---|---|---|
| 1 – Reboco | 2 | 2000 | 0,02 |
| 2 – Tijolo Furado | 11 | 1000 | 0,27 |
| 3 – Poliestireno extrudido | 1,5 | 14 | 0,36 |
| 4 – Reboco | 2 | 1000 | 0,04 |
| $U_{PintNU}$ = 1,07 [W/m$^2$.ºC] | | | |

Os vãos envidraçados verticais da envolvente da moradia apresentam protecção solar interior do tipo cortina opaca cor clara e serão constituídos de acordo com o mapa de vãos, por:

- ENV. 1 – Vidro duplo (8+10+8 mm) com vidro exterior "cool-lite SKN 174II", caixa-de-ar e vidro interior temperado "Securit" de 8 mm.
- ENV. 2 – Vidro isolante (8+10+8 mm) com vidro exterior "cool-lite SKN 174II", caixa-de-ar e vidro interior "Securit Planilux" de 8 mm.
- ENV. 3 – Vidro duplo (8+10+8 mm) com vidro exterior "cool-lite SKN 174II", caixa-de-ar e vidro interior temperado laminado "Vetrflam" 6.6.2.

Quadro 5.9 – Características dos Vãos Envidraçados Verticais

| **Vão envidraçado exterior** | **U [W/m$^2$K]** | **$g_{EN\ 410}$** |
|---|---|---|
| ENV.1, 2 e 3 | 2,21 | 0,2 |

### 5.4.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

As necessidades energéticas previstas para a moradia foram determinadas de acordo com a norma EN ISO 13790 utilizando o programa de cálculo RCCTE_STE, [81].

As necessidades de energia totais de aquecimento e arrefecimento calculadas com base nos pressupostos anteriormente indicados, são apresentados no Quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Necessidades Energéticas

| Carga Térmica | Aquecimento [kW] | Arrefecimento [kW] |
|---|---|---|
| Total | 12,5 | 4 |

### 5.4.3. CLASSE ENERGÉTICA

No Quadro 5.11 apresentam-se as necessidades nominais de energia primária e a classe energética da moradia.

Quadro 5.11 – Classe energética e emissões de $CO_2$

| | |
|---|---|
| Necessidades nominais globais de energia primária (Ntc) [kgep/$m^2$.ano] | 1,20 |
| Valor limite para as necessidades nominais globais de energia primária (Nt) [kgep/$m^2$.ano] | 4,32 |
| Classe energética calculada pelo sistema | A |
| Emissões de $CO_2$ associadas às necessidades nominais globais de energia primária da fracção autónoma ou edifício [ton $CO_2$/ano] | 0,33 |

Todos os valores e detalhes aqui apresentados são exclusivos das empresas intervenientes nesta obra.

Quando se pretende aplicar um sistema geotérmico a um edifício começa-se por fazer o cálculo térmico do edifício, de modo a obter os valores das necessidades energéticas.

Para o caso da moradia chegaram-se a valores de 12,5 kW para a necessidade de aquecimento e 4 kW para arrefecimento.

Nesta fase de projecto não foi calculado o valor exacto da necessidade de AQS, no entanto, para um edifício corrente (neste caso a moradia) o valor desta necessidade é muito inferior comparativamente ao valor da necessidade de aquecimento.

Como já foi dito no capítulo anterior, o valor usado para a escolha da bomba de calor geotérmica e para o dimensionamento do tipo de captação, é o da condição mais desfavorável. O que acontece neste caso prático é o que acontece na maioria dos casos. O valor mais desfavorável é o de 12,5 kW correspondente à necessidade de aquecimento.

O tipo de climatização a usar nesta moradia permite que não haja a necessidade de somar as duas necessidades de aquecimento e AQS. Ao usar-se sistemas de distribuição de pavimento radiante permite que, nos casos em que seja usada potência para a produção de AQS, o sistema de aquecimento não perca eficiência.

Outro motivo para não se somar as potências relativamente às duas necessidades enunciadas, é o facto de não haver necessidade de sobre-dimensionar o sistema para casos particulares.

Calculadas as necessidades da moradia, já é possível saber qual a potência da bomba de calor a implementar para este sistema geotérmico. Chegando-se ao valor de 12,5 kW, a bomba de calor escolhida seria de 12 kW.

No entanto, para este caso em particular, este cálculo térmico foi feito por uma empresa independente, para ser utilizado na fase de concurso.

Isto vem a propósito de que na fase de concurso houve propostas que apresentavam projectos com necessidades energéticas com valores muito diferentes. Por uma questão de escolha das propostas, foi feito o estudo térmico para seleccionar as empresas que apresentavam valores dentro dos limites pretendidos.

## 5.4. TIPO DE CAPTAÇÃO

A escolha do tipo de captação geotérmica para todo o empreendimento foi feita segundo alguns aspectos determinantes.

Foi particularmente na altura da execução do projecto de arquitectura que se tomou a opção de usar a geotermia no empreendimento. Nessa altura abriu-se um concurso para receber várias empresas da área, no sentido de avaliar várias propostas.

Esta tecnologia em Portugal ainda tem uma dimensão muito pequena relativamente a outros países europeus, que já usam esta técnica há muitos anos (cerca de 30 anos).

Devido a estes factores apresentados, ainda pela novidade da tecnologia, a escolha do tipo de captação foi-se prolongando.

No entanto, como a demora da escolha do tipo de captação não poderia atrasar mais a finalização do projecto de arquitectura, levando a que este fosse finalizado e iniciada a sua execução. Este é um dos problemas que se tem passado em Portugal, em que a escolha do tipo de captação faz-se numa altura em que a construção já começou. Várias empresas do ramo deram essa indicação e este facto deve ser motivado pela novidade da tecnologia, tornando o dono de obra a ser mais cauteloso nas suas decisões.

Iniciada a construção no empreendimento, chegou-se à conclusão que se iria optar pela captação vertical por sondas geotérmicas. Esta escolha não se deveu unicamente aos referidos atrasos.

Por um lado, o espaço existente no terreno não permitia ter um tipo de captação horizontal, pois as suas dimensões eram pequenas e existiam várias árvores que com as suas raízes compridas impossibilitavam a sua aplicação.

Por outro lado, como já foi dito no capítulo anterior, a captação horizontal não é tão eficiente para o caso do arrefecimento passivo. Como neste projecto a intenção era usar uma bomba de calor com arrefecimento passivo integrado, optou-se pelas sondas verticais.

Neste caso não fez sentido analisar outros tipos de captação pois não existiam lençóis freáticos no local e os edifícios não foram construídos sobre estacas. Relativamente à captação mista, esta nem sequer foi mencionada na altura de concurso visto ser ainda uma técnica muito recente.

Independentemente dos atrasos, a escolha do tipo de captação foi bem sucedida.

Nos próximos parágrafos serão apresentados todos os passos que se deram desde a elaboração do projecto até à execução do mesmo, para a moradia em análise.

### 5.4.1. DIMENSIONAMENTO DO TIPO DE CAPTAÇÃO

No capítulo anterior foi exemplificado um pré-dimensionamento das sondas verticais, só que este tipo de dimensionamento serve apenas para se ter uma ideia da ordem de grandeza da profundidade dos furos.

Actualmente existem programas de computador que fazem este cálculo tendo em consideração várias variáveis para um cálculo mais real e correcto.

Para o dimensionamento do tipo de captação é importante saber quais são as necessidades energéticas da moradia, mais em concreto as necessidades de aquecimento.

Antes de se iniciar o dimensionamento é possível fazer-se um pré-dimensionamento com as fórmulas usadas no Capítulo 4, para se ter uma ideia da profundidade da captação. Será feito o cálculo com as fórmulas de modo a analisar o erro relativamente ao uso do programa.

Pelo cálculo térmico conclui-se que a potência de aquecimento, ou seja, a necessidade de aquecimento é de 12,5 kW. Com este valor já se pode escolher a bomba de calor geotérmica com o valor do respectivo COP. Para este caso, a máquina escolhida apresentava um COP de 4,7.

Aplicando a fórmula 4.1 chegou-se ao valor de 9,84 kW para a potência do evaporador.

Após calcular a potência do evaporador é necessário saber qual a potência específica de captação, que depende do tipo de solo. Para o caso do Porto é considerado um tipo de solo com mistura de rocha e sedimentos – meio húmido ($\lambda$<1,5 – 3 W/m.°C), que leva a um valor de 60 W/m para a potência específica de captação (Quadro 4.2).

Para o cálculo do comprimento da sonda é usada a fórmula 4.3 e obteve-se um valor para o comprimento de sonda de 164 metros.

A empresa responsável pela aplicação da geotermia na moradia, usou um software específico da "GudEnergy - alphainnotec". Este programa implicava um conhecimento de várias variáveis correspondentes ao local e à moradia.

O dimensionamento feito pelo software referido tem como base de cálculo um método expedito Francês.

Para uma melhor compreensão do dimensionamento efectuado e das variáveis usadas, apresentar-se-á o significado das variáveis e das fórmulas usadas.

As *perdas térmicas* são equivalentes às necessidades energéticas (na maioria do casos – necessidade de aquecimento) com uma margem de erro compreendida entre 0,5 e 1 kW.

Para o cálculo das *perdas térmicas* usa-se a fórmula 5.1.

$$Perdas\ térmicas = \frac{Volume\ habitável * G * (Ti - Tec) * Suplemento\ das\ perdas}{1000}\ [kW] \quad (5.1)$$

O *coeficiente G do isolamento* é escolhido consoante o tipo de construção e pode apresentar valores de 0,65; 0,75; 0,9; 1,2 e 1,8 W/m2.°C, [82]. Para o caso da moradia optou-se por usar o valor de 0,9 que corresponde, pelo método Francês, a construções após o ano 1980.

O *suplemento de compensação das perdas* significa uma margem de segurança relativamente às perdas térmicas. Para a moradia teve-se em conta uma margem de segurança de 20 % (1,2).

Esta margem de segurança é usada no cálculo devido às situações críticas, como picos de Inverno (onde a temperatura exterior pode chegar aos 0 °C) e nos momentos de arranque da bomba de calor geotérmica.

Estas situações críticas apresentadas implicam um consumo excessivo da máquina, daí a existência de uma margem de segurança.

Neste caso, como é uma moradia de habitação principal, o pavimento radiante vai estar sempre ligado, ou seja, a bomba de calor não terá situações de arranque. Este tipo de comportamento permite baixar os consumos da máquina tornando-se mais económico e aumentando também a durabilidade dos equipamentos.

A *temperatura interior* (Ti) corresponde à temperatura interior de conforto na estação de aquecimento e a *temperatura exterior corrigida* (Tec) é a correspondente para a região do Porto pelo regulamento RCCTE.

Para o *coeficiente de simultaneidade* usou-se um valor de 100 %, pois considerou-se toda a casa em aquecimento.

Para o cálculo das *necessidades de aquecimento anual* foi usada a fórmula 5.2.

$$Necessidades\ de\ aquecimento\ anual = \frac{Perdas\ térmicas}{Ti - Tec} * Horas\ de\ aquecimento * Graus\ dias\ [kW.h] \quad (5.2)$$

Nos próximos dois quadros serão apresentadas as variáveis usadas para o dimensionamento e os resultados obtidos. Para uma melhor compreensão será feita a distinção entre os dados fornecidos e os calculados através de cores, sendo o vermelho para os fornecidos e os azuis para os calculados.

Quadro 5.12 – Cálculo de consumo da moradia

| **Cálculo de consumo** | |
|---|---|
| Área da zona a aquecer | 217 $m^2$ |
| Local da instalação | Porto |
| Volume habitável | 586 $m^3$ |

Para este dimensionamento usou-se uma potência específica de captação de 60 W/m por ser no Porto, onde a carta geológica diz que o solo é constituído por uma mistura de rocha e sedimentos em meio

húmido. Nesta situação existia informação sobre o tipo de solo no Porto, no entanto, existem casos onde não é possível arranjar esta informação, implicando fazer um estudo geológico.

No Quadro 5.13, relativo ao dimensionamento, surge o termo *perdas térmicas*, que na linguagem do software corresponde ao mesmo significado de necessidades energéticas (mais em concreto, necessidades de aquecimento).

Quadro 5.13 – Dados térmicos para aquecimento da moradia

| **Dados térmicos para aquecimento da moradia** | |
|---|---|
| Perdas térmicas | 11,5 kW |
| Coeficiente G de isolamento (W/m2.ºC) | 0,90 |
| Suplemento de compensação de perdas | 1,2 |
| Profundidade dos furos de captação (para 60 W/m - tipo de solo com mistura de rocha e sedimentos) | 156 m |
| Número de sondas geotérmicas | 2 |
| COP da bomba de calor | 4,7 |
| Temperatura interior | 20 ºC |
| Temperatura exterior corrigida | 2 ºC |
| Horas de aquecimento | 24 h |
| Coeficiente de simultaneidade considerado | 100 % |
| Estação climatológica | Porto |
| Duração da estação de aquecimento | 6,7 meses |
| Graus dias ($W/m^3.ºC$) | 1610 |
| Necessidades de aquecimento anual | 24450 kW.h |

Este dimensionamento é feito em particular para se obter a *profundidade dos furos de captação* e o *número de furos*, obtendo-se o valor de 156 metros de profundidade (arredonda-se para 160 metros).

Comparando os valores do *comprimento da sonda* pelo software e pelo pré-dimensionamento, observa-se que não há grande discrepância de valores, havendo apenas um erro de 5%. A diferença entre o valor da necessidade de aquecimento que se obteve no cálculo térmico (12,5 kW) e o valor das perdas térmicas (11,5 kW) não tem quase nenhuma influência no comprimento do furo.

Os 160 metros de profundidade são distribuídos por dois furos de 80 metros. Esta divisão em dois furos é devido à elevada perda de carga de uma só sonda (máximo de 120 metros de profundidade em cada sonda) e à capacidade da bomba circuladora da máquina.

Em cada furo optou-se por colocar sondas geotérmicas em PE-100 em U duplo de diâmetro 32 mm, ou seja, cada furo terá 4 tubos. Foram usadas sondas duplas porque têm cerca de 40 % mais rendimento que uma sonda simples (testes realizados pela Haka Gerodur).

O diâmetro das sondas adoptado foi de 32 milímetros, porque para sondas de 40 milímetros o diâmetro do furo teria que ser maior, sendo menor o rendimento (a diferença de rendimento é de cerca de 8 %) e não se justificando o investimento. As sondas de diâmetro com 40 milímetros são normalmente usadas em furos com mais de 160 metros, devido à maior espessura da parede do tubo e portanto maior resistência à pressão hidrostática.

Chegando ao valor da profundidade de perfuração, optou-se por fazer dois furos de 80 metros para a moradia. No próximo parágrafo serão apresentados todos os passos que permitiram executar o furo.

### 5.4.2. EXECUÇÃO DO FURO

Antes de começar a fazer-se os furos é necessário saber o local no terreno onde serão executados. Neste caso optou-se por se fazer os furos perto da moradia, por uma questão de organização espacial e pelas perdas de carga existentes em colocar os furos longe do edifício ou zona técnica (que podem tirar rendimento ao sistema).

Neste caso optou-se por colocar os furos a uma distância da moradia de 1,30 metros e uma distância de 8 metros entre furos. A distância mínima aconselhada entre o furo e o edifício é de 5 m, o que não aconteceu neste caso em particular, pois trata-se de uma moradia em que as fundações não têm um tamanho que suscite a sua danificação com a execução do furo (Figura 5.23).

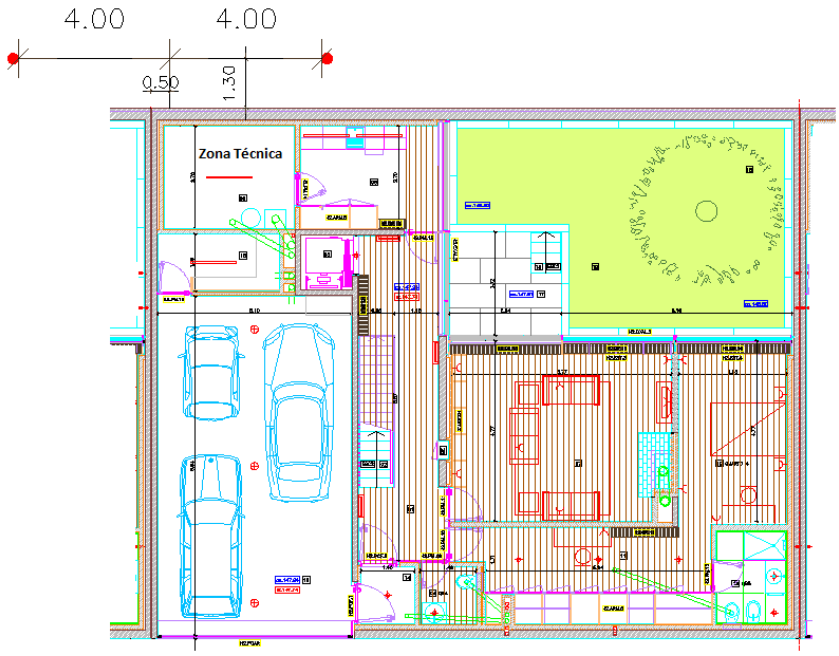


Fig.5.23 – Localização dos furos em planta

Na Figura 5.23 é apresentada a planta do piso -1, onde se encontra à divisão relativa á zona técnica, e a marcação dos furos. O eixo entre os dois furos situa-se a 0,50 metros da junta de dilatação entre a moradia em estudo e a moradia geminada.

Estudada a localização dos furos, procedeu-se à limpeza e ao nivelamento do terreno onde se iam fazer as perfurações (Figura 5.24).

Fig.5.24 – Limpeza e nivelamento do terreno

Após a limpeza e nivelamento foram preparados os equipamentos para a perfuração. A abertura dos furos foi feita por uma empresa que se dedica particularmente à abertura de furos para várias finalidades, neste caso para geotermia.

Antes de apresentar os passos relativamente à abertura do furo é importante fazer uma descrição dos equipamentos necessários.

Os equipamentos necessários são a máquina de perfuração, o compressor, os tubos e o martelo de fundo-de-furo. Na Figura 5.25 estão representados os quatro equipamentos mencionados e que foram usados para a abertura do furo.

Fig.5.25 – Equipamentos necessários

Como já foi dito no capítulo anterior, o compressor é um equipamento que é abastecido por combustível e é uma máquina que apresenta grandes consumos. O preço total do furo tem um valor significativo na implementação desta tecnologia. Em média, numa instalação de um sistema geotérmico, o preço dos furos representa um terço do valor total.

Foram usados dois tipos de tubo para a perfuração, um com diâmetro de 140 mm e outro de 120 mm. O de 140 mm é mais largo e é usado para solos mais moles funcionando como escoragem do próprio furo para o proteger de solo solto. Este tipo de tubo para solos mais moles fica dentro do solo à medida que se vai fazendo o furo.

Já o tubo de diâmetro mais pequeno, ou seja, o de diâmetro 120 mm, é usado quando o solo é constituído por rocha dura. Quando se apanha solo constituído por rocha dura não é necessária a existência de um tubo que funcione como escoragem porque o risco de haver solos solto é muito baixo.

Apresentados os equipamentos necessários para a abertura dos furos, apresentar-se-ão os passos práticos da abertura do furo. Começou-se pela nivelação da máquina de perfuração no local onde se ía fazer o furo até à montagem dos equipamentos, passando pela ligação do compressor à máquina de perfuração, instalação de alguns acessórios na máquina e aplicação do martelo de fundo-de-furo ao tubo (Figura 5.26).

Fig.5.26 – Nivelamento da máquina e montagem dos equipamentos

Após preparado o terreno e montados todos os equipamentos, estavam reunidas todas as condições para se proceder à execução do furo.

O método usado na execução do furo foi o roto-percussão com martelo de fundo-de-furo com extracção de material em excesso por ar comprimido (o ar comprimido permite retirar os detritos de solo que se encontram no furo e água proveniente de camadas subterrâneas e que também se encontra no furo). Como já foi dito no capítulo anterior, este método é o mais usado neste tipo de situações sendo apresentado na Figura 5.27 todos os passos relativos à perfuração.

Fig.5.27 – Execução do furo

Durante a realização da perfuração deparou-se com um acontecimento que estava a causar algum incómodo. A máquina, ao fazer o furo, provocava a saída dos detritos e de alguma água subterrânea, em forma de esguicho e que atingia uma elevada altura.

Estes esguichos lançados na vertical provocavam sujidade nas paredes da moradia, assim como, no interior da moradia (os esguichos eram de tal maneira grandes que ultrapassavam a altura da mesma).

De modo a evitar esta situação foi colocado um plástico nas paredes, de maneira a protegê-las, e uma peça na máquina de perfuração que tem a função de evitar os esguichos lançados na vertical (Figura 5.28).

Fig.5.28 – Aplicação da peça de protecção na máquina de perfuração e do plástico na parede

A aplicação destes meios de protecção deve-se ao facto dos furos serem feitos após a moradia estar executada estruturalmente. Este tipo de situação ocorre muitas vezes pelo motivo de se optar pelo tipo de captação num tempo tardio.

O ideal seria fazer os furos antes, ou pelo menos, aquando da construção da estrutura da moradia. No entanto, o facto de esta tecnologia ainda ser praticamente virgem em Portugal, provoca alguns atrasos nas decisões o que leva por vezes a algumas situações idênticas a esta.

Ao longo da execução do furo foram dadas as devidas atenções ao tipo de solo que se ía furando, assim como, a sua identificação. Uma técnica usada na perfuração para a identificação do solo é a percepção do ruído produzido pelo batimento do martelo de fundo-de-furo no solo, produzindo sons diferentes em solo mole ou duro.

Foi feita uma análise do tipo de solo existente, quer pela análise dos sons quer pela identificação dos detritos de solo que eram expelidos pela perfuração.

Na próxima figura é apresentado o resultado dessa análise, mais conhecido por coluna estratigráfica.

Fig.5.29 – Coluna estratigráfica

Feito o furo, no próximo parágrafo far-se-á a análise dos passos relativamente à aplicação da sonda geotérmica.

### 5.4.3. Aplicação da Sonda Geotérmica

Antes da aplicação da sonda geotérmica é necessário prepará-la de modo a que a sua aplicação seja feita da maneira correcta.

A sonda geotérmica colocada neste furo é constituída por tubos de polietileno PE-100 de diâmetro 32 mm. Nos tubos certificados vêm marcadas as suas características, como é possível observar na Figura 5.30.

Fig.5.30 – Característica do tubo da sonda geotérmica (PE-100 e diâmetro 32 mm)

A preparação da sonda consiste em colocar o peso de fundo (20 kg de peso) na extremidade da sonda, assim como o rolo de tubo numa posição elevada de modo a que a sonda entre na vertical e mais facilmente (Figura 5.31).

Fig.5.31 – Preparação da sonda geotérmica

Após a preparação da sonda foi tomada uma decisão antes de colocá-la no furo. Essa decisão determinou que se optasse por encher os tubos da sonda com água de modo a esta ficar mais pesada, para que a sua colocação se fizesse de um modo mais fácil. Esta opção deve-se ao facto de após a realização do furo, este começar a ficar com alguma água proveniente de pequenos lençóis freáticos e que dificultariam a entrada da sonda.

Estando a sonda cheia de água procedeu-se à sua colocação, como é visível na Figura 5.32.

Fig.5.32 – Aplicação da sonda geotérmica

Após a colocação da sonda até aos 80 metros (de acordo com o dimensionamento), cortaram-se os tubos ficando as pontas de fora (Figura 5.33).

Fig.5.33 – Corte dos tubos

Um aspecto a salientar na colocação da sonda é a recomendação de não haver cortes e soldaduras de tubos. Os tubos devem ser colocados inteiros, pois este tipo de soldaduras pode sofrer quebras durante o funcionamento do sistema, provocando a perda do seu rendimento.

No entanto, é comum haver alguns casos, em que a sonda tem porções soldadas, isto é, utilizam-se sobras de sondas de modo a fazer um aproveitamento do material. Se por acaso houver quebras nas soldaduras, o sistema não funcionará correctamente, e um arranjo nestes casos tem valores muito elevados, pois implica, na maioria dos casos, fazer outro furo.

Logo, é recomendável haver uma fiscalização por parte dos responsáveis da obra relativamente a este assunto.

Um pormenor que é verificado neste caso e que não corresponde com a técnica de aplicação enunciada no Capítulo 4 é a inexistência de separadores entre os 4 tubos e a aplicação do tubo de injecção. Nesse capítulo está exemplificada a situação recomendável. Não desvalorizando o que aconteceu nesta aplicação, foi pedida uma explicação à empresa responsável por esta especialidade, tendo-nos transmitido toda a confiança no método usado e garantindo que o sistema não iria perder as suas características e o seu rendimento. A empresa também alertou para o facto de que nos outros furos iriam aplicar-se os separadores.

Depois de colocada a sonda e cortados os tubos, coloca-se novamente água dentro da sonda de modo a fazer uma limpeza de detritos existentes dentro da mesma e para a eliminação de bolhas de ar.

Após a introdução da água colocou-se uma protecção na entrada dos tubos da sonda para evitar a contaminação com detritos e retiraram-se os tubos usados para a abertura do furo. Apenas se retiraram os tubos de menor diâmetro, que foram usados para fazer a abertura no maciço rochoso. Os outros tubos ficaram enterrados até se fazer o enchimento e a vedação do furo.

No próximo parágrafo enunciar-se-ão os passos dados na injecção do material de enchimento e vedação.

### 5.4.3. INJECÇÃO DO MATERIAL DE ENCHIMENTO E VEDAÇÃO

Após a introdução total das sondas e feitos os respectivos cortes, injecta-se o material de enchimento e vedação no furo, através de uma máquina e de um tubo de injecção. No Capítulo 4 foi mencionada a importância desta tarefa.

O material de enchimento e vedação usado neste furo é composto por cimento e bentonite.

Fig.5.34 – Introdução do material de enchimento e vedação

Esta máquina apresentada aqui na Figura 5.34 é eléctrica e serve para dar pressão ao movimento do cimento e da bentonite em conjunto com a água, dentro do tubo de injecção. A entrada do material de enchimento e vedação provoca a saída de detritos e de água que possam estar no furo, logo tem-se a certeza do enchimento completo, quando se observa apenas material de enchimento e vedação à saída do furo.

Estando o furo preenchido com o cimento e a bentonite, retiraram-se os tubos (mais largos) que serviram para abrir o furo e que serviram de contenção ao material solto.

Após esta tarefa dá-se por concluída a aplicação da sonda geotérmica. Por uma questão de protecção dos tubos das sondas é comum dobrar as pontas exteriores (Figura 5.35).

Fig.5.35 – Dobragem das pontas exteriores da sonda geotérmica

Nestas pontas da sonda são depois aplicadas as uniões de sondas aqui e faz-se a ligação à bomba de calor que fica na zona técnica.

Neste caso particular não foram usados colectores de distribuição porque apenas foram executados dois furos para o abastecimento da moradia e ambos à mesma profundidade. Devido aos furos terem a mesma profundidade, o caudal nas sondas é constante, o que leva à abolição dos colectores de distribuição.

Se por acaso houvesse mais furos, e com profundidades diferentes, era necessário usar colectores de distribuição para fazer com que o caudal nas sondas fosse constante.

Após o primeiro furo e introdução da primeira sonda geotérmica foi realizado um ensaio, já enunciado no capítulo anterior, chamado de Teste de Resposta Térmica (TRT).

### 5.4.4. TESTE DE RESPOSTA TÉRMICA (TRT)

Este ensaio, designado na praça pública pela sigla TRT.

Os motivos que levam à realização deste ensaio são (pelo menos um dos dois):

- Necessidades energéticas do edifício superiores a 30 kW;
- Existência de vários furos no mesmo empreendimento;

Este ensaio apresenta custos elevados para a sua realização. A opção da sua não realização poderá transformar-se numa situação complicada e, à posteriori, pouco económica na resolução dos problemas dali decorrentes.

Relativamente ao primeiro motivo enunciado para a realização do ensaio – analisando as necessidades energéticas da moradia, confirma-se que por si só, não haveria necessidade de fazer o ensaio. No Quadro 5.13 está mencionado o valor da necessidade energética mais desfavorável, ou seja, a do aquecimento, com um valor de 11,5 kW, valor inferior aos 30kW.

Já pela análise do segundo motivo, o ensaio tem todo o interesse em realizar-se, devido à existência de vários furos no empreendimento.

Se o sistema geotérmico fosse apenas para uma moradia não justificaria fazer-se o ensaio, pois este tem um custo elevado. Neste caso fazia-se uma extensão da profundidade do furo (relativamente ao

valor dado no dimensionamento aprofundar-se-ia o furo cerca de 10 metros), por uma questão de margem de segurança.

Resumindo, esta acção é economicamente válida quando se tem apenas um ou dois furos, o que neste empreendimento em estudo não acontece. Fazer extensões na profundidade de todos os furos do empreendimento, relativamente aos valores de dimensionamento, implicaria um custo acrescido.

Portanto, no empreendimento compensa fazer o ensaio TRT, de modo a obter o valor exacto da condutibilidade do terreno. Todo o terreno apresentava a mesma constituição, daí o ensaio apenas ter sido feito num dos furos.

Por vezes ocorre a necessidade de se fazer o ensaio em mais furos, pois o solo no local em estudo apresenta variadas constituições.

No dimensionamento do tipo de captação foi usado um valor de 60 W/m para a potência específica de captação (Quadro 5.13). Este valor é utilizado quando a condutibilidade térmica do terreno tem valores entre os 1,5 e 3 W/m.K.

Como já foi referido no dimensionamento, na região do Porto usam-se estes valores pois a constituição do solo é à base da mistura de rocha e sedimentos – meio húmido. No entanto, estes valores são teóricos e tabelados, ou seja, podem não representar totalmente a realidade da constituição do solo.

Após a explicação dos motivos que levaram a fazer o ensaio, apresentar-se-ão todos os passos para o furo feito na moradia.

Inicialmente começou-se por limpar e arranjar o local onde se ía fazer o ensaio (junto à sonda geotérmica) e depois colocou-se a caixa branca (que possui todos os equipamentos de medida) de uma forma nivelada (Figura 5.36).

Fig.5.36 – Preparação do terreno e colocação da caixa

Depois de colocada a caixa no terreno, procedeu-se à análise da temperatura na sonda, tirando-se os valores a cada 2 metros de profundidade até se atingirem os 80 metros – para tal usou-se uma sonda de medição de temperatura (Figura 5.37).

Fig.5.37 – Medição da temperatura

Foi medida a temperatura antes do início do ensaio e depois de realizado o ensaio. Após a apresentação dos passos será mostrado um gráfico relativo a esta medição.

A caixa branca é constituída por vários equipamentos, desde a resistência que faz o aquecimento da água, sensores de medição, mostradores e dois buracos que são para entrada da sonda, sendo um de envio e outro de retorno. O interior da caixa branca tem o aspecto da figura seguinte.

Fig.5.38 – Caixa de equipamentos de medição

De seguida, encheu-se a sonda com água filtrada (por questões de limpeza) através de um depósito apropriado. Para se poderem fazer as ligações necessárias foi necessário colocar uns acessórios nas pontas da sonda (Figura 5.39).

Fig.5.39 – Enchimento da sonda com água

Após ter sido feito o enchimento da sonda geotérmica com água, fizeram-se as ligações entre a sonda e a caixa branca. Os passos relativamente a esta tarefa estão representados na figura seguinte.

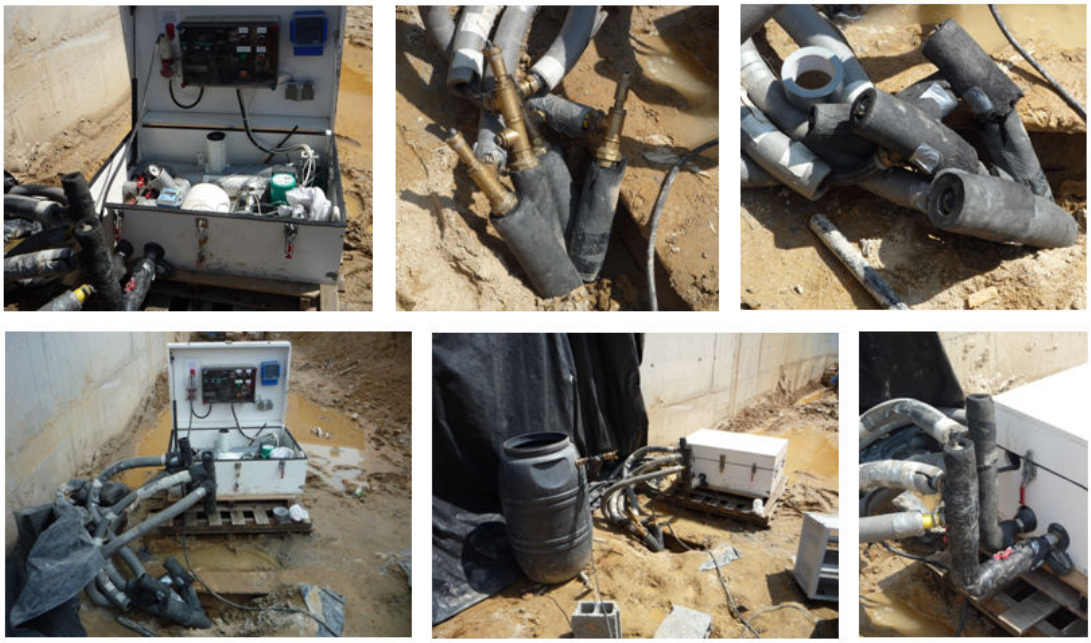

Fig.5.40 – Ligação entre a sonda e caixa branca

Após serem feitas todas as ligações foram aplicadas umas mangas de protecção térmica, de modo a não permitir perdas de calor pelas ligações.

Estes passos aqui apresentados foram os necessários para se poder dar início ao teste. Verificou-se se estava tudo correcto e deu-se início ao TRT, fechando-se a caixa branca.

Um aspecto importante e que também foi mencionado no Capítulo 4 é a necessidade de não haver cortes de electricidade na execução do ensaio. Por este motivo pôs-se uma nota de aviso junto da tomada em que estava ligada a máquina para que não acontecesse nada que pudesse por em perigo o desenvolvimento do ensaio.

A máquina ficou a trabalhar durante o tempo necessário, ou seja, até haver um equilíbrio térmico entre a sonda e o terreno. Quando se chega a esse ponto a máquina pára de fazer o teste.

Foram precisas 140 horas e 10 minutos para a realização do ensaio, ou seja, quase 6 dias.

Após a finalização do ensaio, os técnicos responsáveis vieram à obra fazer o levantamento do material e dos dados que ficaram registados num disco da caixa branca. Esses dados foram depois levados para a sede da empresa responsável, de modo a serem interpretados para no fim ser emitido um relatório com os resultados do ensaio.

O TRT feito no solo deste empreendimento permitiu chegar a vários valores, no entanto, o valor mais importante para uma comparação teórica foi o da condutibilidade térmica do terreno.

- Condutibilidade Térmica do Terreno ($\lambda$) = 2,55 W/m.K

O valor correspondente à condutibilidade térmica do terreno está dentro do intervalo [1,5;3] (W/m.K), o que dá credibilidade ao valor que se optou no dimensionamento para a potência específica de captação de 60 W/m (Quadro 5.13).

Pode dizer-se até que corresponde a mais de 60 W/m, uma vez que 2,55 W/m.K está próximo do valor limite do intervalo, que é 3 W/m.K, e que já corresponde a uma potência específica de captação de 84 W/m. Fazendo uma interpolação com os valores do quadro 4.2 do Capítulo 4 e com a condutibilidade térmica real do terreno de 2,55 W/m.K, é possível chegar ao valor da potência específica de captação de 64,3 W/m.

Esta interpolação tem apenas significado numa análise teórica.

Analisando as fórmulas do pré-dimensionamento, verifica-se que o comprimento da sonda é inversamente proporcional ao valor da potência específica de captação.

Feito o ensaio, verifica-se que a potência específica de captação de 64,3 W/m é maior que os 60 W/m adoptados no dimensionamento, ou seja, o ensaio leva a concluir que estamos do lado da segurança.

Uma grandeza também medida foi a temperatura da água dentro da sonda em profundidade e em vários tempos do ensaio. Foi feito um perfil de temperaturas em cada 2 metros de profundidade até aos 80 metros e nos vários tempos.

Os tempos em que foram medidos os valores da temperatura foram 1) os de antes de começar o ensaio, 2) logo após acabar o ensaio e 3) uma e duas horas após o fim do ensaio (Figura 5.41).

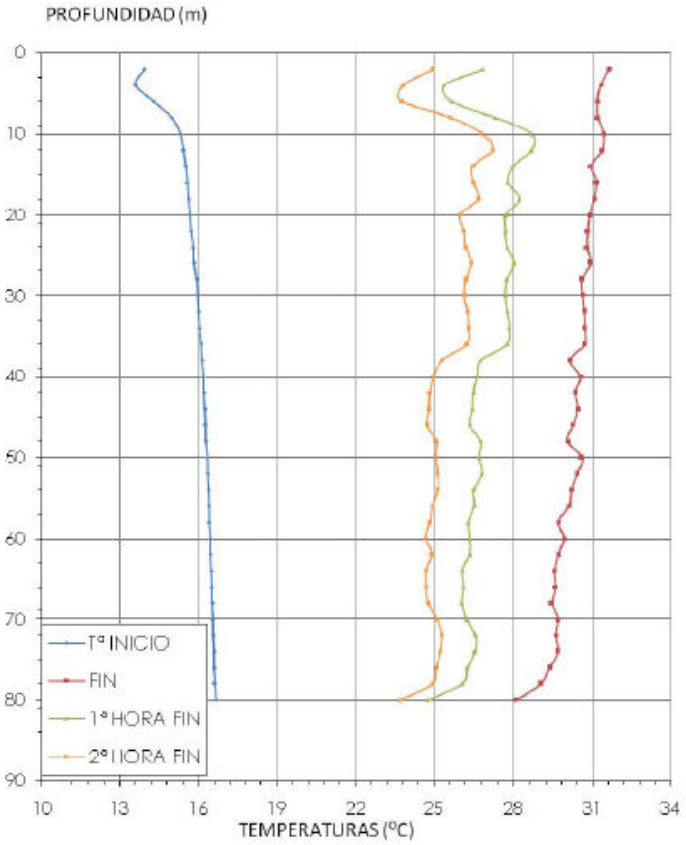


Fig.5.41 – Perfil de temperaturas

Pela análise do gráfico pode constatar-se que a variação da temperatura em profundidade não apresenta grandes desvios. Isto significa que o subsolo é composto por uma formação rochosa homogénea sem fluxo de águas subterrâneas significativas.

Este ensaio permitiu dar segurança aos resultados obtidos no dimensionamento do tipo de captação, pois inicialmente adoptou-se uma potência específica de captação de 60 W/m e na realidade tem-se 64 W/m. Isto permite reduzir um pouco na profundidade dos furos existentes no empreendimento ou, pelo menos, não fazer extensões de profundidade como margem de segurança (mantendo-se os 80 metros por furo).

Este ensaio também permitiu medir outras grandezas que fogem do foco de análise desta dissertação.

## 5.5. ZONA TÉCNICA

A zona técnica está situada arquitectonicamente no piso -1 num local exterior, junto aos arrumos na garagem, à lavandaria e ao elevador. Como esta zona foi projectada na fase da elaboração do projecto de arquitectura foi possível colocá-la num local longe de espaços delicados, como quartos ou salas.

Na Figura 5.42 é apresentada a zona técnica ainda sem os equipamentos mas é possível ter a noção do espaço.

Fig.5.42 – Zona técnica

É possível salientar na figura, uma abertura no piso que é destinada para a entrada das sondas geotérmicas, vindas do exterior que depois serão ligadas à bomba de calor.

Na Figura 5.43 é possível ver a ligação das sondas geotérmicas à zona técnica. Apenas está representado um esquema da ligação, dando ênfase à bomba de calor, pois na zona técnica existem mais equipamentos.

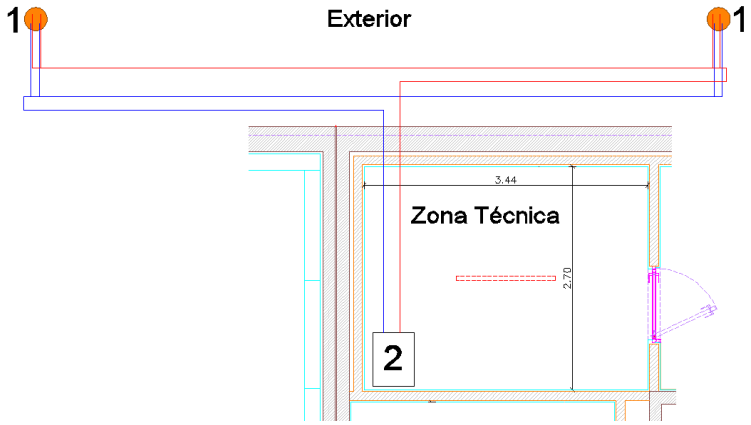


Fig.5.43 – Ligação das sondas geotérmicas à zona técnica

Quadro 5.14 – Legenda da ligação das sondas geotérmicas á bomba de calor

| Legenda | |
|---|---|
| 1 | Furos |
| 2 | Bomba de calor |

Para uma melhor compreensão da zona técnica é representado na Figura 5.44 o esquema hidráulico que permite fazer a climatização ambiente com o aproveitamento da energia geotérmica, e produção das águas quentes sanitárias através da conjugação da energia solar e geotérmica.

A zona técnica é constituída por quase todos os equipamentos e circuitos representados na Figura 5.44, à excepção da captação vertical e do painel solar que ficam no exterior.

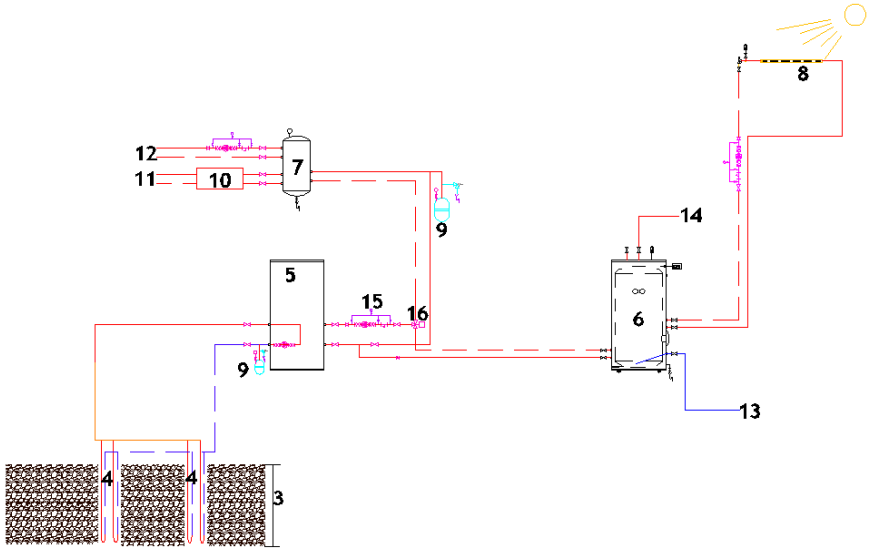


Fig.5.44 – Esquema hidráulico da moradia

Quadro 5.15 – Legenda do esquema hidráulico da moradia

| Legenda | |
|---|---|
| 3 | Profundidade de 80 metros para os furos |
| 4 | Sondas geotérmicas |
| 5 | Bomba de calor geotérmica 12 kW |
| 6 | Depósito de AQS (300 litros) |
| 7 | Depósito de inércia (200 litros) |
| 8 | Painel solar |
| 9 | Vaso de expansão |
| 10 | Grupo de impulsão |
| 11 | Circuito do pavimento radiante |
| 12 | Circuito dos ventiloconvectores |
| 13 | Entrada da água da rede |
| 14 | Saída AQS |
| 15 | Bomba circuladora de aquecimento |
| 16 | Válvula de 3 vias monitorizada |

No esquema hidráulico estão apenas legendados os acessórios principais, no entanto existem outros que são importantes para o funcionamento da instalação. Esses acessórios são válvulas, sondas, purgador, termóstatos, filtros, entre outros. Não são legendados porque a sua análise ultrapassa o objectivo desta dissertação.

No circuito geotérmico o fluido usado é a água glicolada e no restante circuito o fluido predominante é a água desencrustante para evitar o calcário.

No próximo parágrafo serão apresentadas as características de alguns equipamentos, assim como o modo de funcionamento.

### 5.5.1. BOMBA DE CALOR

A bomba de calor geotérmica utilizada neste sistema geotérmico é do tipo terra/água, é de 12 kW e tem arrefecimento passivo integrado, ou seja, permite fazer o arrefecimento com temperaturas altas (entre 15 e 18 °C). No Quadro 5.16 são apresentadas as características da bomba de calor e na Figura 5.45 é apresentado o tipo de bomba implementada na moradia em estudo.

Quadro 5.16 – Características da bomba de calor geotérmica usada na moradia

| **Bomba de calor geotérmica SWC 120H/K** | |
|---|---|
| **Performances** | |
| Potência calorífica / COP com B0/W35 segundo EN 225 com um Δt de 10 K | 11,9 kW / 4,7 |
| Potência calorífica / COP com B0/W35 segundo EN 14511 com um Δt de 5 K | 11,7 kW / 4,5 |
| Caudal de água glicolada da fonte de calor | 2600 l/h |
| Caudal de água para o aquecimento | 2000 l/h |
| Peso de fluido frigorífico $R_{407}C$ | 2,9 kg |
| **Valores de utilização** | |
| Valores de utilização da água de aquecimento | 20 a 65 ºC |
| Valores de utilização de água glicolada | -5 a 25 ºC |
| Pressão diferencial no circuito de aquecimento com um Δt de 7 K | 0,30 bar |
| Pressão diferencial no circuito de água glicolada com um Δt de 4 K | 0,49 bar |
| **Aparelho** | |
| Dimensões: Largura x Profundidade x Altura | 650 x 500 x 1550 mm |
| Peso incluindo embalagem de transporte | 224 kg |
| **Características eléctricas** | |
| Tensão / consumo máximo da bomba de calor | 400 V / 7,5 A |
| Resistência eléctrica de apoio integrado na bomba de calor | 2 / 4 / 6 kW |
| Consumo em B0/W35 segundo EN 14511 | 2,6 kW / 4,8 A |

Fig.5.45 – Bomba de calor geotérmica SWC 120H/K

Esta bomba de calor tem duas particularidades. Por um lado, contém uma resistência eléctrica que é usada para casos de avaria de algum equipamento. Independentemente de haver uma avaria, a bomba de calor consegue manter as funções a que está destinada usando apenas energia eléctrica.

Outra particularidade consiste na possibilidade de poder ficar ligada á internet, permitindo que esta seja sempre controlada por parte do fabricante.

A função da bomba de calor geotérmica neste caso de estudo foi a de produzir energia para permitir fazer a climatização ambiente e AQS. Neste caso é dada prioridade à produção de AQS em detrimento da climatização. Isto ocorre pela existência de uma válvula de três vias monitorizada que permite inverter o circuito de climatização quando existe uma necessidade para águas quentes sanitárias.

Quando acontece esta situação, a climatização é assegurada pelo depósito de inércia.

### 5.5.2. DEPÓSITO DE AQS

O depósito de AQS para a moradia em análise foi dimensionado também através do mesmo software usado para o dimensionamento dos furos geotérmicos.

Neste caso foi calculado o valor das *necessidades de AQS anual* através da fórmula 5.3.

$$Necessidades\ de\ AQS\ anula = \frac{Base\ de\ consumo * (Taq - Taf) * 365\ dias * k}{1000}\ [kW.h] \quad (5.3)$$

A letra “k” da fórmula corresponde a um factor de conversão de Kcal para kW e tem o valor de 1,163.

No Quadro 5.17 referem-se as variáveis que estiveram no dimensionamento, indicando novamente, a vermelho as variáveis fornecidas e a azul as calculadas

Quadro 5.17 – Dados térmicos para a água sanitária

| Dados térmicos para a água sanitária | |
|---|---|
| Base de consumo (litros/dia) | 300 L/dia |
| Temperatura de água quente (Taq) | 45 ℃ |
| Temperatura de água fria (Taf) | 12 ℃ |
| Necessidade de AQS anual | 4203 kW.h |

O esquema do depósito de AQS usado na moradia é apresentado na Figura 5.46.

Fig.5.46 – Depósito de AQS

Quadro 5.18 – Legenda do depósito de AQS

| Legenda | |
|---|---|
| 1 | Entrada da água da rede |
| 2 | Saída AQS |
| 3 | Saída permutador solar |
| 4 | Entrada permutador solar |
| 5 | Saída permutador apoio (bomba de calor) |
| 6 | Entrada permutador apoio (bomba de calor) |
| 7 | Sonda comando painel solar |
| 8 | Sonda termóstato |
| 9 | Ânodo magnésio |

O depósito é constituído por duas serpentinas, sendo uma para o sistema geotérmico e outra para o sistema solar. O sistema geotérmico apenas fará apoio ao solar para a produção das AQS, dando sempre prioridade ao sistema solar.

Sendo a moradia da tipologia T4, admitiram-se cinco ocupantes. Ao considerar-se 50 litros por cada ocupante, obtém-se um valor final de 250 litros. Arredondou-se este valor para uma produção de 300 litros de água quente sanitária por dia para uma temperatura de 45 °C. Uma vez por semana sobe-se a temperatura para 60 °C para desinfecção térmica.

### 5.5.3. DEPÓSITO DE INÉRCIA

O depósito de inércia é um equipamento que faz a separação dos dois circuitos, o primário e o secundário, sendo o esquema hidráulico apresentado na Figura 5.44. O circuito primário corresponde ao circuito a montante do depósito de inércia e o secundário corresponde ao de jusante. Em ambos os circuitos o fluido utilizado é a água desencrustante.

O depósito de inércia tem a função de fazer a separação hidráulica e a de volante térmico. A separação hidráulica serve para tornar independentes os caudais da bomba de calor dos terminais dos circuitos dos sistemas de climatização. A função de volante térmico serve para reduzir os arranques da bomba de calor, melhorando os rendimentos e reduzindo o desgaste dos vários componentes.

Para a moradia em estudo foi dimensionado um depósito de inércia de 200 litros (Figura 5.47).

Fig.5.47 – Depósito de inércia

O método utilizado para o dimensionamento do depósito de inércia foi o recomendado pelo projectista do pavimento radiante que utilizou 1 litro por 1 $m^2$ área de zona a aquecer. Como são 217 $m^2$ de área de zona a aquecer, arredondou-se para o valor de 200 litros.

A temperatura da água no depósito de inércia varia de acordo com a temperatura exterior, pois a água que vai para o deposito é proveniente da bomba de calor que também controla a temperatura de envio de acordo com a temperatura exterior.

### 5.5.4. GRUPO DE IMPULSÃO

O grupo de impulsão é constituído por um conjunto de acessórios, como a bomba circuladora, uma válvula misturadora de 3 vias, uma ligação ao colector e um by-pass com válvula de pressão

diferencial. Incorpora a unidade de refrigeração e aquecimento para o funcionamento ideal do sistema, de acordo com as condições requeridas (Figura 5.48).

A sua localização é a jusante do depósito de inércia e a montante do circuito do pavimento radiante, fazendo o seu abastecimento (Figura 5.44). Os acessórios que constituem o grupo de impulsão têm o aspecto da Figura 5.48.

Fig.5.48 – Grupo de impulsão

A temperatura de impulsão, ou seja, a temperatura da água nos circuitos dos sistemas de distribuição é controlada no grupo de impulsão através da temperatura exterior.

Analisados todos os equipamentos principais que normalmente ficam colocados na zona técnica, é apresentado na Figura 5.49 a forma como ficam instalados no local.

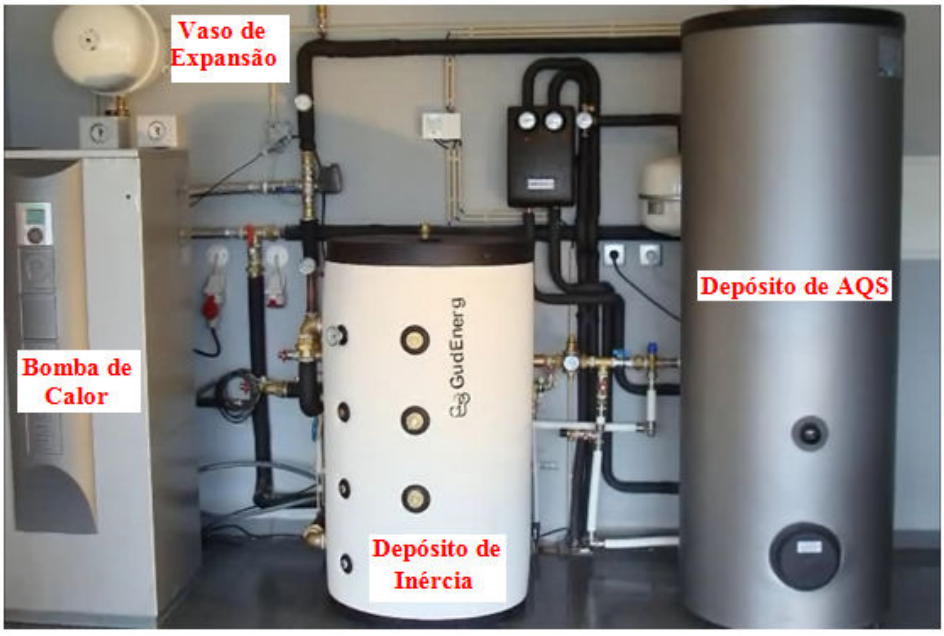


Fig.5.49 – Equipamentos que constituem a zona técnica

## 5.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Apresentados os princípios de funcionamento e equipamentos utilizados a montante do depósito de inércia, referente ao esquema hidráulico da moradia, apresentar-se-ão os sistemas de distribuição que estão a jusante.

Como já foi dito no Capítulo 4, existem vários sistemas de distribuição a utilizar num sistema geotérmico aplicado a um edifício, nomeadamente o pavimento radiante e os ventiloconvectores. No entanto, uns são mais aconselháveis por questões de rendimento de utilização.

Na moradia em análise foi utilizado o pavimento radiante e foi feita a pré-instalação dos ventiloconvectores com o objectivo de os utilizadores poderem vir a instalá-los se o pretenderem.

O cuidado em fazer a pré-instalação dos ventiloconvectores passa pelo seu método construtivo, que tem algumas exigências. Em fase de construção foi possível fazer as diversas ligações necessárias, pois após a construção da moradia seria mais difícil.

Optou-se também pelos ventiloconvectores porque são um dos sistemas de distribuição mais aconselháveis para o uso da geotermia nos edifícios e seria um erro não fazer pelo menos a sua pré-instalação.

Nos próximos parágrafos serão analisados todos os passos que estiveram envolvidos na aplicação destes dois sistemas de distribuição.

### 5.6.1. PAVIMENTO RADIANTE

Actualmente no mercado existem vários tipos de pavimentos radiantes, diferenciando-se cada um deles pelas suas finalidades e pelos seus rendimentos. Existem pavimentos radiantes destinados unicamente para fazer o aquecimento e outros destinados para aquecimento e arrefecimento. Variam uns dos outros pelos sistemas construtivos utilizados, assim como pelo seu dimensionamento.

Na moradia em estudo foi utilizado um pavimento radiante com funções de aquecimento e arrefecimento.

#### 5.6.1.1. Esquema e princípio de funcionamento

O sistema de distribuição pavimento radiante usado na moradia é definido como um sistema de climatização invisível em que é usada uma rede de tubagens pelas quais circula um fluido (água desencrustante para evitar o calcário) e que passa por debaixo do chão das divisões. Os circuitos de tubagens ficam dispostos sobre um painel isolante para evitar perdas de temperatura para divisões inferiores.

O sistema de aquecimento e arrefecimento funciona segundo os respectivos princípios:

- Modo de aquecimento – a argamassa que cobre os circuitos armazena a energia calorífica transportada pelo fluido quente que circula através dos tubos. Uma vez que a argamassa fica saturada, a energia é transmitida por radiação para o ambiente.
- Modo de arrefecimento – o fluido frio que passa pelos circuitos dos tubos absorve o calor do ambiente e envia para o solo.

A temperatura de impulsão no pavimento radiante varia de acordo com a temperatura exterior, ao contrário da temperatura interior ambiente que varia de acordo com as necessidades do utilizador. Isto quer dizer que a temperatura da água que circula dentro dos tubos do pavimento é regulada pelo grupo

de impulsão e é feita através da temperatura exterior; a temperatura ambiente é regulada pelo utilizador.

A temperatura de impulsão (temperatura da água dentro dos circuitos) para a moradia pode apresentar valores de 35 a 40 °C para o aquecimento e de 15 a 18 °C para o arrefecimento, dependendo da temperatura exterior. A temperatura da argamassa que é colocada por cima dos tubos poderá ir até ao limite compreendido entre os 26 e 28 °C.

Na moradia, o aquecimento ambiente é feito utilizando uma temperatura de impulsão optimizada e calculada de acordo com a curva de aquecimento do grupo de impulsão.

A grande novidade deste tipo de pavimento radiante é o facto do caudal nos circuitos ser regulado consoante as necessidades térmicas. É aplicado ao sistema de climatização um acessório designado por *detentor* que faz o controlo automático dos caudais.

A temperatura da água que passa dentro dos circuitos é regulada no grupo de impulsão (através da temperatura exterior) e é igual em todos os circuitos, pois a água é sempre a mesma. No entanto há casos em que os utilizadores pretendem temperaturas ambientes diferentes em cada divisão.

Como não é possível ter diferentes temperaturas de água nos circuitos, para se poder variar a temperatura ambiente em cada divisão, regula-se o caudal em cada circuito.

Estes detentores permitem regular o caudal automaticamente, ou seja, o utilizador ao alterar a temperatura ambiente no "display" de controlo térmico, provoca que as cabeças dos detentores abram ou fechem, permitindo aumentar ou diminuir o caudal para chegar à temperatura ambiente desejada.

Na moradia em análise foram usados circuitos individuais para cada divisão a climatizar e duas caixas de distribuição.

De acordo com as recomendações da marca do pavimento radiante, foi colocada uma caixa de distribuição em cada piso. Esta recomendação é praticamente obrigatória porque cada caixa de distribuição tem apenas capacidade para 12 circuitos, o que ultrapassa o número total de circuitos da moradia.

As caixas de distribuição são os elementos onde são fixados os colectores e ligados os tubos provenientes do grupo de impulsão. Nas Figuras 5.50 e 5.51 estão representadas as caixas de distribuição, dos respectivos pisos -1 e 0.

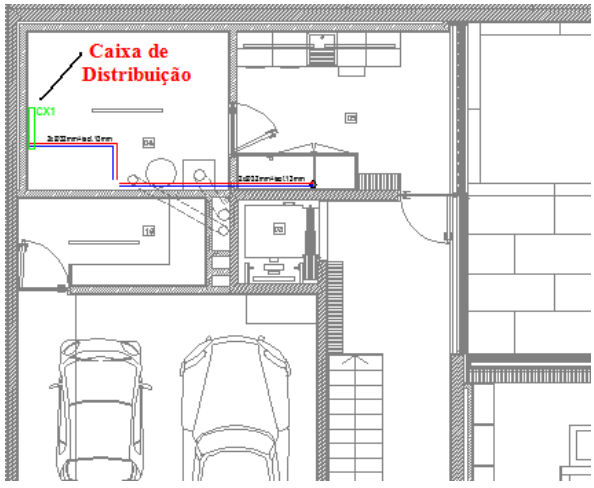


Fig.5.50 – Caixa de distribuição do piso -1 (zona técnica)

Nos próximos parágrafos serão analisados todos os pormenores relativos às duas caixas de distribuição.

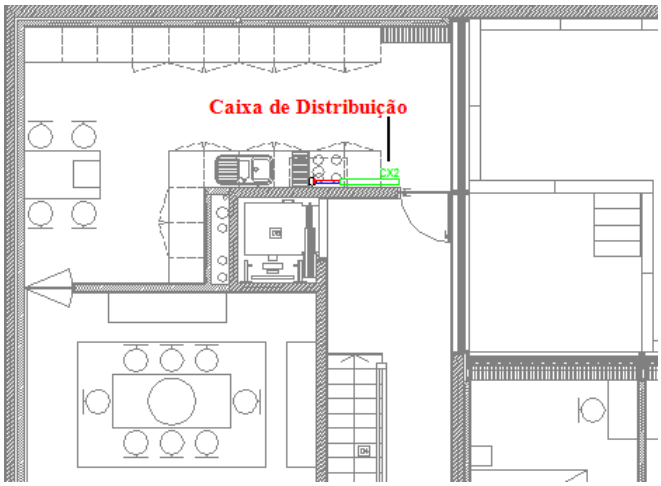


Fig.5.51 – Caixa de distribuição do piso 0 (cozinha)

Todos os circuitos estão ligados às caixas de distribuição, estando os circuitos do piso -1 ligados à caixa existente na zona técnica e os do piso 0 ligados à caixa de distribuição da cozinha.

Um pormenor relativamente a esta instalação é o facto de os circuitos de envio do pavimento radiante e ventiloconvectores serem individuais e o circuito de retorno ao depósito de inércia ser o mesmo.

Nas Figuras 5.52 e 5.53 é possível ver a organização dos circuitos adoptada, respectivamente em cada piso.

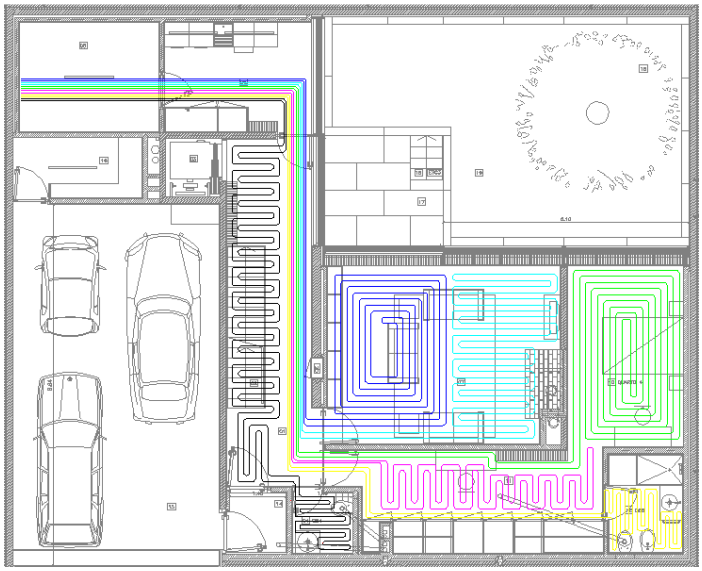

Fig.5.52 – Circuitos existentes no piso -1

Nenhum dos circuitos apresentados passou o limite de comprimento de tubo, ou seja, não passou dos 130 metros. A passagem deste limite pode levar a problemas no funcionamento do sistema, pois leva a perdas de carga significativas.

Os circuitos referentes ao piso 0 estão representados na Figura 5.53.

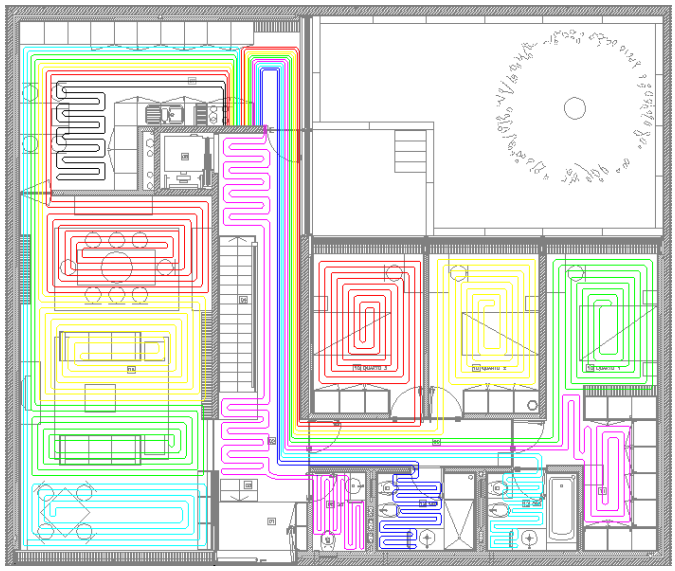

Fig.5.53 – Circuitos existentes no piso 0

Na sala comum (piso 0) é possível observar a existência de 4 circuitos. Para esta divisão houve a necessidade de adoptar este número de circuitos, pois 1 circuito de 130 metros (limite) não cobriria a sala comum.

Enunciado o método de funcionamento do pavimento radiante, a esquematização dos circuitos e a posição das caixas de utilização, referentes à moradia em estudo, serão de seguida apresentados todos os detalhes relativamente à sua montagem.

#### 5.6.1.2. Montagem do Pavimento Radiante

A montagem do pavimento radiante utilizado na moradia em questão teve início com a construção de uma laje flutuante em todas as divisões a climatizar.

A laje flutuante, como o nome indica, é um elemento com a forma de uma laje que é colocada em cima da laje estrutural e tem o objectivo de evitar pontes térmicas, perdas de calor, e absorver dilatações do pavimento.

Este elemento é constituído por painéis porta tubos antiderrapantes com relevo em círculos de polietileno expandido EPS e por faixas de espuma de polietileno como se mostra na Figura 5.54.

Inicialmente as faixas de espuma foram pregadas à parede junto à laje estrutural através de um prego, ficando com a forma de rodapé e depois foram colocados os painéis porta tubos, tendo sido pousados em cima da laje estrutural. No remate entre os painéis e as faixas foi aplicada uma espuma de poliuretano com o objectivo de tapar os espaços existentes entre o contacto dos dois materiais, de modo a que a laje flutuante não perdesse as suas características.

Fig.5.54 – Aplicação das faixas de espuma e dos painéis porta tubos

Na aplicação dos painéis porta tubos há um aspecto importante a salientar, nomeadamente quando é feito em pisos térreos. A moradia em análise é da tipologia dúplex e o piso -1 é considerado térreo, ou seja, está em contacto com o solo. Nestes casos, antes da colocação dos painéis é importante aplicar um plástico denominado *filme de polietileno anti-humidade* que serve para proteger o pavimento radiante de humidades ascensionais (Figura 5.55).

Fig.5.55 – Aplicação do filme de polietileno anti-humidade no piso -1

Um aspecto construtivo a salientar na aplicação dos painéis, foi o facto de por vezes haver necessidade de cortar os painéis de forma a encaixarem e evitarem zonas não cobertas pelo pavimento radiante.

Esses espaços provenientes das junções de peças foram preenchidos com a espuma de poliuretano com o mesmo objectivo anterior. É importante que não haja buracos ou furos na laje flutuante.

Fig.5.56 – Aplicação de espuma de poliuretano em falhas

Uma vez executada a base laje flutuante procedeu-se à aplicação dos tubos em cima dos painéis porta tubos. A aplicação dos tubos exige alguns cuidados que depois durante o funcionamento do sistema, fazem toda a diferença.

Junto de aberturas, mais concretamente em janelas, onde há incidência do sol, a colocação dos tubos tem quer ser feita de maneira diferente, relativamente aos outros locais. Devido à permissão da incidência solar, os locais das divisões com este panorama têm tendência a ficar mais quentes perto das janelas.

Além da permissão solar, as janelas envidraçadas são também elementos onde se registam perdas térmicas, daí esta tarefa também ser recomendável para a situação de aquecimento.

Devido a estes problemas é comum aplicar um circuito com menor distância entre tubos nestes locais a uma distância da janela de cerca de 0,50 a 1 metros.

A Figura 5.57 é referente à aplicação dos tubos de acordo com o esquema dos circuitos apresentado em 5.6.1.1. Os tubos usados neste pavimento radiante têm a designação de PRO evalPEX. São tubos de polietileno reticulado (PEX a), conferindo mais durabilidade, flexibilidade e segurança, com uma barreira Etilvinil-álcoll (EVAL) e uma camada exterior de protecção em polietileno modificado, para evitar deteriorações e proteger a tubagem e a camada Etilvinil-álcool contra agressões, [83].

O PEX permite uma maior flexibilidade do tubo, evitando estrangulamentos que reduzem o caudal e permite optimizar os percursos da instalação. Facilitam também a instalação reduzindo os tempos de montagem.

O EVAL é uma camada de protecção que evita a penetração do oxigénio, permitindo uma segurança total do sistema.

Por fim, o polietileno modificado permite que o tubo suporte as agressões que possam ocorrer durante a obra e oferece grande resistência a altas temperaturas.

Fig.5.57 – Aplicação dos tubos sobre os painéis porta tubos

O princípio da aplicação dos tubos é feito por cada circuito, no entanto, cada circuito só fica concluído com a ligação dos tubos aos colectores das caixas de distribuição.

Na Figura 5.58 estão apresentadas as duas caixas de distribuição na moradia em estudo.

Fig.5.58 – Caixas de distribuição

Os dois tubos pretos visíveis na Figura 5.58, em cada caixa de distribuição, são referentes ao envio e ao retorno da água, estando na caixa de distribuição ligados aos colectores e na outra extremidade ligados ao depósito de inércia. Os tubos dos circuitos são ligados, nas caixas de distribuição, a uns

acessórios denominados *colectores* e *adaptadores*, onde estão também os detentores, sendo que estes últimos permitem assegurar ter em cada circuito uma via de envio do fluido e outra de retorno.

Na Figura 5.59 pode-se ver a montagem dos colectores.

Fig.5.59 – Montagem dos colectores

No último esquema da Figura 5.59 é possível ver os dois colectores, sendo um para o envio e outro para o retorno do fluido. Estes colectores são colocados nas duas caixas de distribuição, fazendo um total de quatro distribuidores na moradia.

Um circuito é constituído por um tubo que tem uma entrada e uma saída, sendo estas aberturas ligadas a cada um dos distribuidores. A Figura 5.60 é referente à ligação dos tubos aos colectores, na cozinha e na zona técnica.

É nos colectores que estão os detentores que fazem a regulação do caudal.

Fig.5.60 – Ligação dos tubos aos colectores no piso 0 (cozinha)

A Figura 5.60 apresentada é referente ao piso 0, a cozinha, sendo a Figura 5.61 referente às ligações na zona técnica.

Fig.5.61 – Ligação dos tubos aos colectores no piso -1 (zona técnica)

Nos colectores foi aplicado um medidor de pressão, permitindo medir qual a pressão existente nos circuitos.

Após a montagem total do pavimento radiante, foram postos todos os circuitos em carga com água, de modo a testar se estava tudo a funcionar correctamente, analisando a existência de fugas e fazendo a limpeza dos tubos. A água foi colocada nos circuitos através de uma bomba e um depósito (Figura 5.62).

A água que vai entrando nos circuitos é filtrada de modo a limpar os tubos e evitar que entrem poeiras que os possam danificar.

Fig.5.62 – Ensaio à carga dos circuitos

Este ensaio é muito importante para detectar fugas, que por vezes são tão mínimas que se tornam difíceis de detectar. Este permite encontrar anomalias através da leitura do medidor de pressão.

A água é colocada nos circuitos a uma pressão de 6 bar; se por acaso a pressão baixar consideravelmente é porque algo de errado se passou e o mais provável é ter havido uma fuga.

Depois de aplicado o pavimento radiante e executado o ensaio, fez-se o enchimento do piso, constituindo a parte final da laje flutuante, com uma argamassa composta por um aditivo que evita a inclusão de ar na argamassa, facilitando a adesão aos tubos.

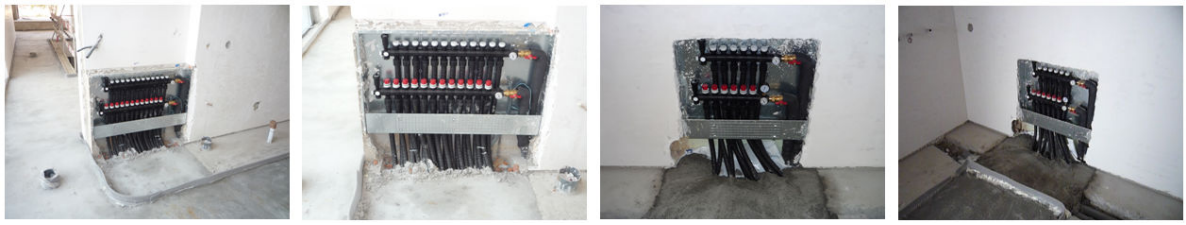

Fig.5.63 – Aplicação da argamassa sobre os tubos

Um aspecto importante a salientar na aplicação da argamassa sobre os tubos é a necessidade de ser feita o mais rápido possível porque isso evita perdas de pressão da instalação devido às dilatações dos tubos. As dilatações dos tubos são provocadas pela temperatura ambiente, sendo que na altura da aplicação dos tubos a temperatura já rondava valores referentes à época de Verão.

### 5.6.2. VENTILOCONVECTORES

Relativamente aos ventiloconvectores, e como já foi dito anteriormente, foi apenas realizada a sua pré-instalação. Os ventiloconvectores também ficam ligados ao depósito de inércia.

#### 5.6.2.1. Esquema e princípio de funcionamento

Nas Figuras 5.64 e 5.65 apresenta-se a instalação dos ventiloconvectores respectivamente em cada um dos pisos.

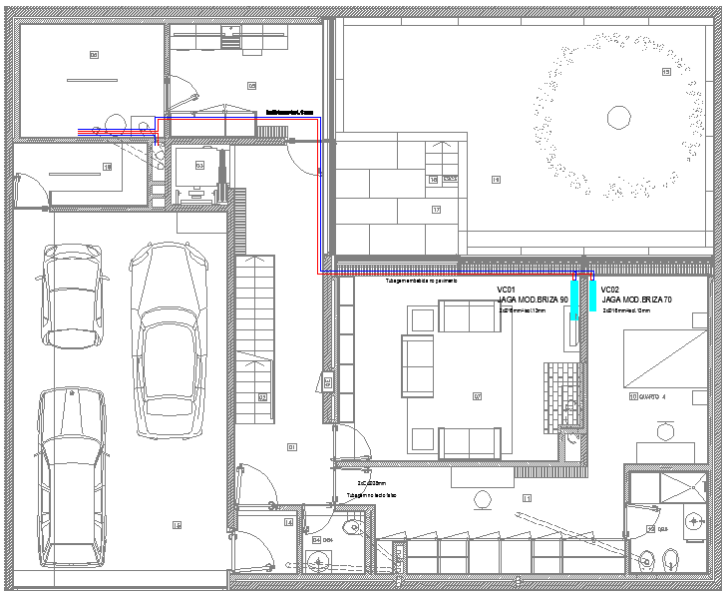


Fig.5.64 – Ventiloconvectores no piso -1

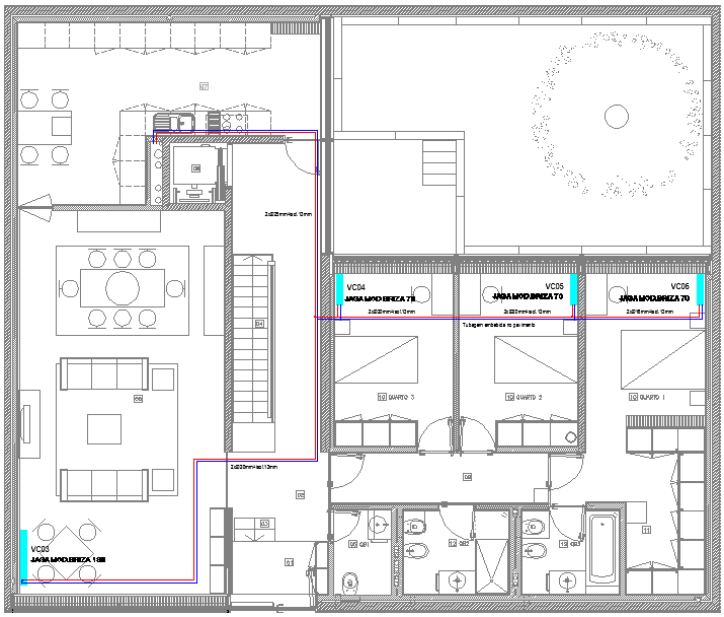

Fig.5.65 – Ventiloconvectores no piso 0

### 5.6.2.2. Montagem

Neste parágrafo apenas se mostrará uma apresentação do modo como foi feita a pré-instalação, sem definir quais as características dos ventiloconvectores a usar.

A particularidade do sistema construtivo deste tipo de sistema de distribuição é a existência de um tubo direccionado para a rede de esgotos, devido às condensações.

Na Figura 5.66 é apresentada a montagem da instalação dos tubos.

Fig.5.66 – Montagem da pré-instalação dos ventiloconvectores

Os tubos mais grossos e que se encontram juntos fazem a ligação entre os ventiloconvectores e o depósito de inércia; os tubos de menor diâmetro (como é possível observar na caixa branca embutida na alvenaria) servem para fazer a instalação eléctrica e a ligação à rede de esgotos.

Esta instalação é feita na altura da colocação dos tubos das outras especialidades, para abastecimento de água, electricidade, gás, esgotos, aspiração central, telecomunicações, entre outros. Após a instalação fez-se o enchimento com argamassa. É por cima deste piso que se faz a laje flutuante para o pavimento radiante.

Nas Figuras 5.67 e 5.68 são apresentadas dois pormenores da Figura 5.66 para uma melhor compreensão.

Tubo para alimentação eléctrica
Tubo destinado à ligação da rede de esgotos
Tubos de outras especialidades
Tubos de ligação do ventiloconvector ao depósito de inércia

Fig.5.67 – Pormenor geral

Na Figura 5.68 apresenta-se um pormenor relativo à caixa branca embutida na parede com os respectivos tubos.

Tubo para alimentação eléctrica
Tubo destinado à ligação da rede de esgotos
Terminais de ligação aos ventiloconvectores
Tubos de ligação do ventiloconvector ao depósito de inércia

Fig.5.68 – Pormenor da caixa branca embutida na parede

## 5.7. ANÁLISE ECONÓMICA

Concluída a análise de todos os aspectos, desde o projecto até à execução, relativos à aplicação de um sistema geotérmico na moradia – com funções de aquecimento ambiente e produção de águas quentes sanitárias –, foi feita uma análise económica com o objectivo de avaliar sob o ponto de vista monetário, a aplicação desta tecnologia.

Nesta análise económica fez-se uma comparação de custos anuais entre os vários tipos de energia possíveis de usar e um estudo relativamente à amortização do investimento deste sistema.

A moradia em estudo tem um sistema que utiliza as duas fontes de energia renovável, a solar e geotérmica, contudo, é objectivo desta dissertação fazer apenas uma análise económica para o caso de a moradia usar unicamente a energia geotérmica.

### 5.7.1. COMPARAÇÃO DE CUSTOS ANUAIS ENTRE VÁRIOS TIPOS DE ENERGIA

Na climatização ambiente e na produção de águas quentes sanitárias, as energias mais usadas para se obter as situações de conforto e a produção das AQS, são o gás propano, o gás natural e o gasóleo. A comparação de consumos é feita para estes tipos de energias fósseis e a geotermia.

Os consumos que a seguir se referirão são relativos à moradia e correspondem apenas aos consumos de aquecimento e de AQS. Neste caso, como temos o arrefecimento passivo, não se contabiliza esta parcela nos consumos.

Pela análise do dimensionamento nos Quadros 5.13 e 5.17 é possível analisar os valores correspondentes aos consumos, através das necessidades de aquecimento anual e necessidades de AQS anual.

Somando estas necessidades energéticas tem-se um valor de 28653 kW.h. Este valor corresponde ao consumo anual de aquecimento para uma temperatura interior ambiente de aquecimento de 20 °C na estação de aquecimento (6,7 meses) e para um depósito de água quente sanitária de 300 litros gastos por dia a 45 °C, independentemente da fonte de energia utilizada.

Para se fazer uma análise dos consumos é necessário saber os preços unitários de cada tipo de energia. Na Figura 5.69 estão apresentados os preços correntes de cada uma daquelas fontes de energia.

| ENERGIAS | PREÇO (€) | ACTUALIZ. | |
|---|---|---|---|
| Electricidade (H. vazias) | 0.082 €/kW | 23-03-2011 | |
| Electricidade (h. cheias) | 0.138 €/kW | 23-03-2011 | PCI |
| Gasóleo aquecimento | 1.020 €/L | 02-03-2011 | 9.4 kWh/L |
| Gas propano | 2.040 €/Kg | 02-03-2011 | 12.9 kW/Kg |
| Gas natural | 0.063 €/kWh | 22-03-2011 | |

Fig.5.69 – Preço das energias

Os preços apresentados são relativos à data mencionada. Também são apresentados os valores de conversão da potência calorífica (PCI) do gasóleo de aquecimento e do gás propano.

Através do consumo anual de aquecimento e água quente sanitária, dos rendimentos e dos custos unitários dos vários tipos de energias, é possível fazer uma comparação entre os custos anuais gastos para o referido consumo (Figura 5.70).

| Tipos de Energias | CONSUMO ANUAL aquecimento e água quente | Rendimento | Consumo anual de energia | Custo anual | Aumento do custo anual de várias energias em relação à Geotermia |
|---|---|---|---|---|---|
| Propano | 28653 | 80% | 2,783 Kg | 5,677.13 € | + 742% |
| Gasóleo | 28653 | 75% | 4,069 L | 4,149.93 € | + 542% |
| Gás Natural | 28653 | 80% | 35,816 kWh | 2,357.02 € | + 308% |
| Geotermia | 28653 | 470% | 6,096 kWh | **765.27 €** | |

Fig.5.70 – Comparação entre custos anuais

Para o caso geotermia, o custo anual é unicamente referente à electricidade gasta nos consumos em cima mencionados. Através da Figura 5.67 é possível ver o custo da electricidade nos respectivos períodos (vazio e cheio). No entanto, no caso em estudo foi calculado com base num funcionamento usando o sistema bi-horário, adoptando 50 % para cada período.

Com os valores do custo anual de cada energia é possível fazer um gráfico para análise dos valores obtidos (Figura 5.71).

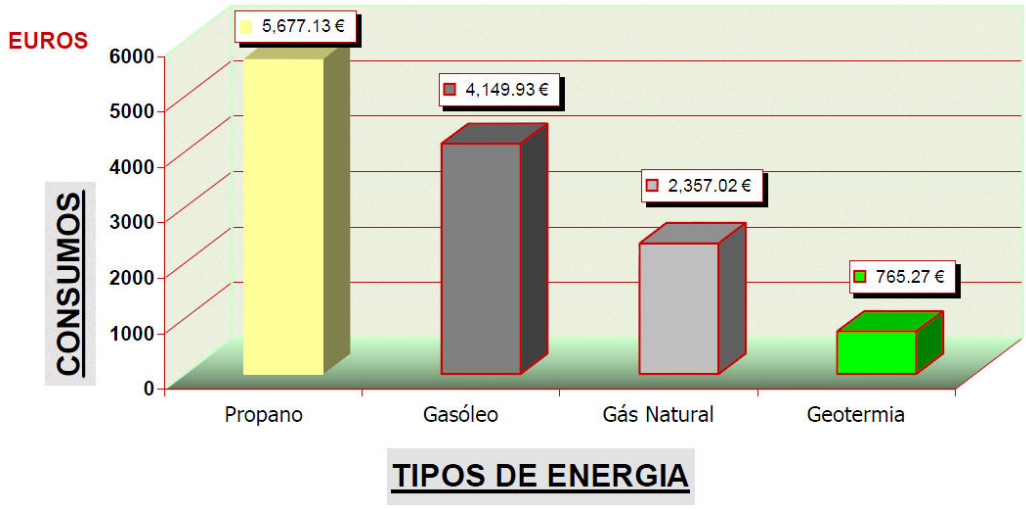


Fig.5.71 – Gráfico da comparação entre custos anuais

Comparando os valores apresentados na Figura 5.71, facilmente se conclui que o uso da geotermia para as finalidades já enunciadas, é a melhor escolha sob o ponto de vista económico em termos de custos anuais.

É importante voltar a salientar que o valor de 765,27 € é apenas referente ao consumo anual da moradia em estudo, usando a geotermia isoladamente e não em conjugação com a energia solar (como está feito na prática).

A aplicação de um sistema geotérmico num edifício implica um investimento inicial significativo. No entanto, através dos consumos previstos para este caso e com a implementação desta tecnologia, facilmente se conclui que a amortização do investimento faz-se em pouco tempo. No próximo parágrafo será feita uma análise relativamente a este aspecto para o caso da moradia.

### 5.7.2. AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO

Por último, apresentar-se-á na Figura 5.70 um gráfico que traduz o investimento inicial em vários sistemas e o desenvolvimento do consumo ao longo dos anos.

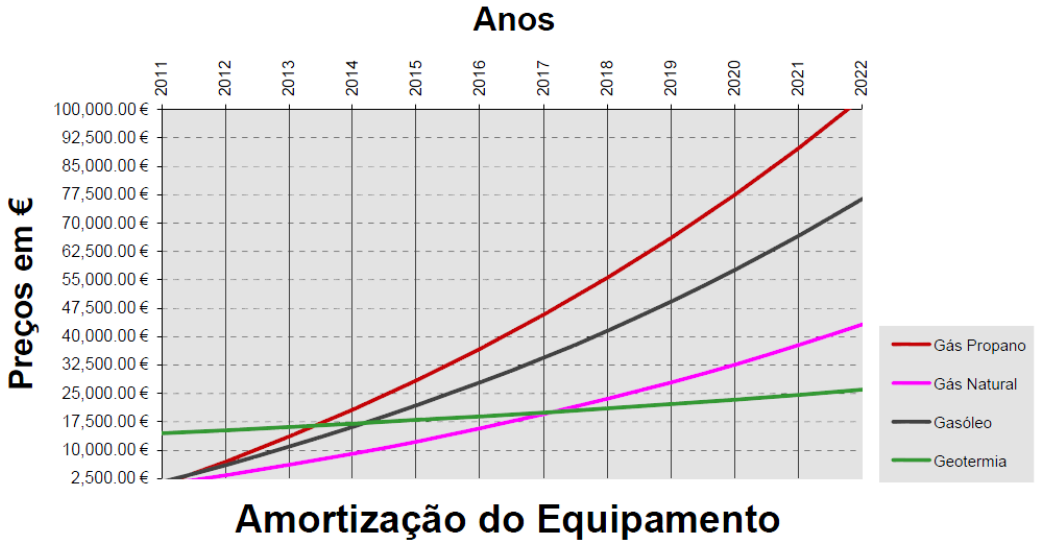


Fig.5.72 – Amortização do equipamento

Como já foi dito, o investimento inicial de um sistema geotérmico é relativamente significativo em comparação com outros sistemas.

Sobre a análise da Figura 5.70 podem ser feitas as seguintes observações:

a) O preço em 2011 é unicamente relativo aos equipamentos específicos para cada um dos tipos de energia e após esta data os valores do preço são acrescidos através dos consumos calculados em 5.7.1. É importante referir que preço inicial é só dos equipamentos sem a montagem.

b) O preço inicial da geotermia é de 16.000,00€ e é apenas relativo à bomba de calor geotérmica e do furo. Usar gás natural, propano ou gasóleo implica também ter sistemas de distribuição e outros equipamentos como caldeiras, painel solar, depósito de AQS, depósito de inércia, grupo de impulsão e outros, daí o uso desta tecnologia implicar apenas um acréscimo nos referidos equipamentos (bomba de calor geotérmica e furo).

c) Analisando o desenvolvimento do gráfico, verifica-se que é no ano de 2017 que se dá a amortização do equipamento (passados 6 anos) face ao sistema que usa gás natural.

d) A geotermia nos edifícios é uma tecnologia que não apresenta grandes níveis de manutenção, sendo feita em casos muito específicos e pontuais (normalmente trocar filtros de 2 em 2 anos). A durabilidade do sistema está estimada em 25 a 30 anos para a bomba de calor, cerca de 40 anos para o pavimento radiante e 70 anos para a sonda geotérmica. Posto isto, os 6 anos necessários para a amortização do equipamento é visto como um não entrave à aplicação da tecnologia.

e) A climatização ambiente e a produção de AQS feita com a geotermia tem também vantagens ambientais, pois a única energia que consome é a eléctrica.

Após uma análise detalhada sobre todos os campos que estão envolvidos na aplicação de um sistema geotérmico num caso prático, far-se-á uma aplicação desta tecnologia a uma casa que faz parte de um caso de investigação na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

# 6
# CASO DE ESTUDO – CASA S.E.R.

## 6.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO – CASA S.E.R.

Neste capítulo será feita uma abordagem sobre a implementação da tecnologia geotermia nos edifícios, numa casa tipo (desenvolvimento do produto) que se encontra em estudo na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O objectivo desta dissertação, através deste caso de estudo, passa por fazer uma análise idêntica ao caso de estudo anterior, abordando todos os campos necessários para a implementação da geotermia na casa S.E.R.

Casa S.E.R. é a denominação corrente da expressão *"Sustainable Evolutive Residence"*.

Esta casa foi desenhada pelo Arquitecto Nadir Bonaccorso [84] e apresenta-se como uma habitação com uma arquitectura e construção influenciadas por aspectos sociais, económicos e energéticos.

A casa S.E.R. é uma habitação com um sistema de construção modular, com o objectivo de inicialmente começar por um módulo e aumentar com o decorrer do tempo e tem sistemas construtivos característicos, que permitem ter uma autonomia energética parcial ou total.

Na Figura 6.1 apresenta-se um aspecto da casa S.E.R. constituída por quatro módulos.

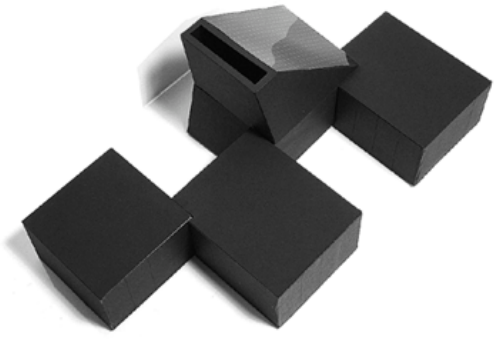

Fig.6.1 – Casa S.E.R. [85]

A arquitectura e os sistemas construtivos adoptados na casa S.E.R. foram projectados de modo a que o produto final fosse de encontro a uma casa fácil de construir em qualquer local e que tivesse reduzidos consumos energéticos, não esquecendo os princípios de conforto e de adaptabilidade.

O sistema construtivo, procurando alcançar a maximização de um processo modular e pré-fabricado, pretende ser simples e compactável num container para ser transportado até ao local de construção. Havendo necessidade de acrescer uma como nova unidade (módulo) para aumentar uma casa S.E.R. já existente, há que usar novo container. O mesmo se passará se houver necessidade de transportar a própria casa para outro lugar, ou demolir desmontando a casa e reciclando as suas componentes, [86].

Este sistema construtivo permite fazer o alargamento do espaço da casa ao longo do tempo (sistema evolutivo), consoante as necessidades e possibilidades do utilizador (Figura 6.2).

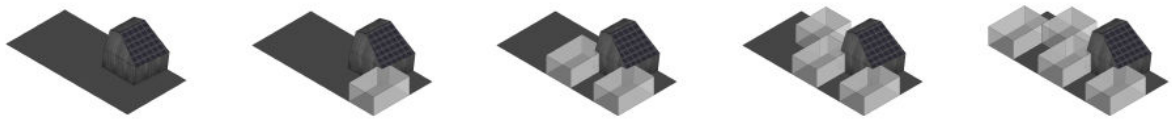

Fig.6.2 – Sistema evolutivo da casa S.E.R. [88]

A estrutura é metálica sendo revestida exteriormente por painéis de fibrocimento tipo "Viroc", isolamento térmico, caixa-de-ar (para preenchimento no local com material com características de grande inércia térmica) e interior em gesso cartonado, [87].

As estruturas modulares "Viroc" permitem uma grande flexibilidade e rapidez de construção bem como responder aos elevados padrões de eficiência energética.

Os volumes "acessórios", a sala de estar e quartos, dispõem-se alternadamente criando pátios, de forma a criar a melhor exposição solar e aproveitar assim, de forma passiva, a radiação solar.

O "motor" da casa é o único volume irregular que contém a cozinha e as casas de banho. Este elemento, ao qual cabe a tarefa de fornecer energia, água quente, recolha e distribuição de água, dosear o fluxo de ar natural através do efeito chaminé, é organizador da estrutura da casa.

Além da construção modular, a casa S.E.R. apresenta algumas particularidades na sua concepção, tais como apresentadas na Figura 6.3, [88].

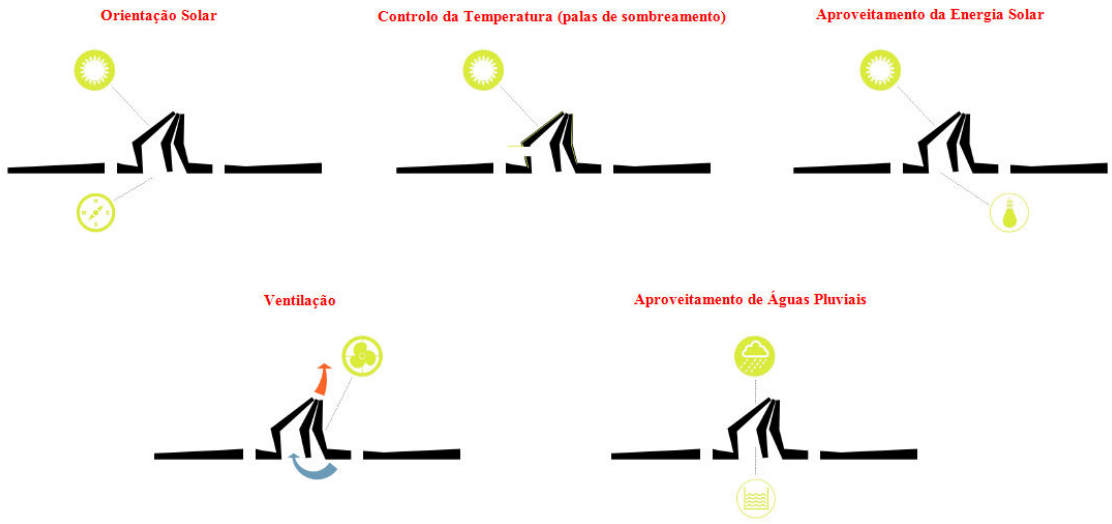


Fig.6.3 – Particularidades da casa S.E.R. [88]

### 6.1.1. ORIENTAÇÃO SOLAR

Para uma das faces do telhado estão contemplados painéis solares e painéis fotovoltaicos. A casa S.E.R. permite ser implantada de modo a que esta face fique virada a sul.

No entanto, a orientação da face do telhado corresponde com a das janelas, ou seja, se há a intenção de o telhado ficar orientado a sul, as janelas também ficam. Consegue-se assim um aproveitamento de luz natural e de ganhos térmicos.

### 6.1.2. CONTROLO DA TEMPERATURA

A casa S.E.R. engloba sistemas de sombreamento através de palas que permitem evitar a incidência de luz directa nas janelas, promovendo assim um controlo da temperatura interior. Este controlo é decisivo nas épocas onde a temperatura exterior é mais elevada e estando as janelas viradas a sul, as palas de sombreamento são decisivas no funcionamento térmico da casa.

### 6.1.3. APROVEITAMENTO SOLAR

Como já foi dito em 6.1.1., está contemplado para uma das faces do telhado da casa S.E.R. um conjunto de painéis solares e fotovoltaicos. Os painéis solares servem para fazer o aquecimento ambiente e a produção das águas quentes sanitárias; já os painéis fotovoltaicos direccionam-se para a produção de energia eléctrica.

Para se obter um bom aproveitamento solar para estes fins é recomendável que esta face do telhado fique virada a sul.

Estes sistemas que fazem o aproveitamento solar permitem obter resultados positivos sob os pontos de vista económico e ambiental, reduzindo o consumo de energias fósseis e aproveitando uma energia renovável.

É precisamente neste parágrafo que se insere o objectivo deste capítulo, que passa pela apresentação de uma tecnologia que visa também o aproveitamento de uma fonte de energia renovável, mais concretamente a energia geotérmica.

### 6.1.4. VENTILAÇÃO

Também está contemplado um sistema de ventilação que permite manter as condições térmicas de conforto no interior da casa.

### 6.1.5. APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

O aproveitamento das águas pluviais para outros fins (águas sujas, rega, etc.) é uma característica da casa S.E.R., que tem vantagens tanto a nível económico como ambiental. Além de proporcionar poupanças ao nível do consumo de água, permite utilizar menor quantidade de água potável, que se encontra cada vez mais escassa.

Na Figura 6.4 é possível ter uma ideia da construção do módulo principal, referente à cozinha e à casa de banho, e à colocação dos painéis solares e fotovoltaicos numa das faces do telhado.

Fig.6.4 – Construção de um módulo da casa S.E.R. [86]

Na Figura 6.5 estão representados alguns pormenores da casa S.E.R, respectivamente o sistema de ancoragem estrutural das fundações e o enchimento do espaço de ar das paredes com material de grande inércia.

Fig.6.5 – Pormenores da casa S.E.R. [88]

## 6.2. ARQUITECTURA

Como já foi dito no parágrafo anterior, a arquitectura da casa S.E.R. foi projectada de modo a ser uma habitação que se expande em termos de tamanho ao longo do tempo. A dimensão inicial do espaço modular e o seu aumento feito à posteriori é do interesse do utilizador.

Para este caso de estudo optou-se por escolher um limite de três blocos modulares: um principal (cozinha, casa de banho e antecâmara) e dois secundários (sala, arrumos, 2 quartos e zonas de circulação).

Na Figura 6.6 está representada uma figura correspondente à planta da casa S.E.R. para a quantidade de blocos modulares admitida.

Sobre a cozinha, a casa de banho e a antecâmara existe um piso em mezanino denominado por área técnica.

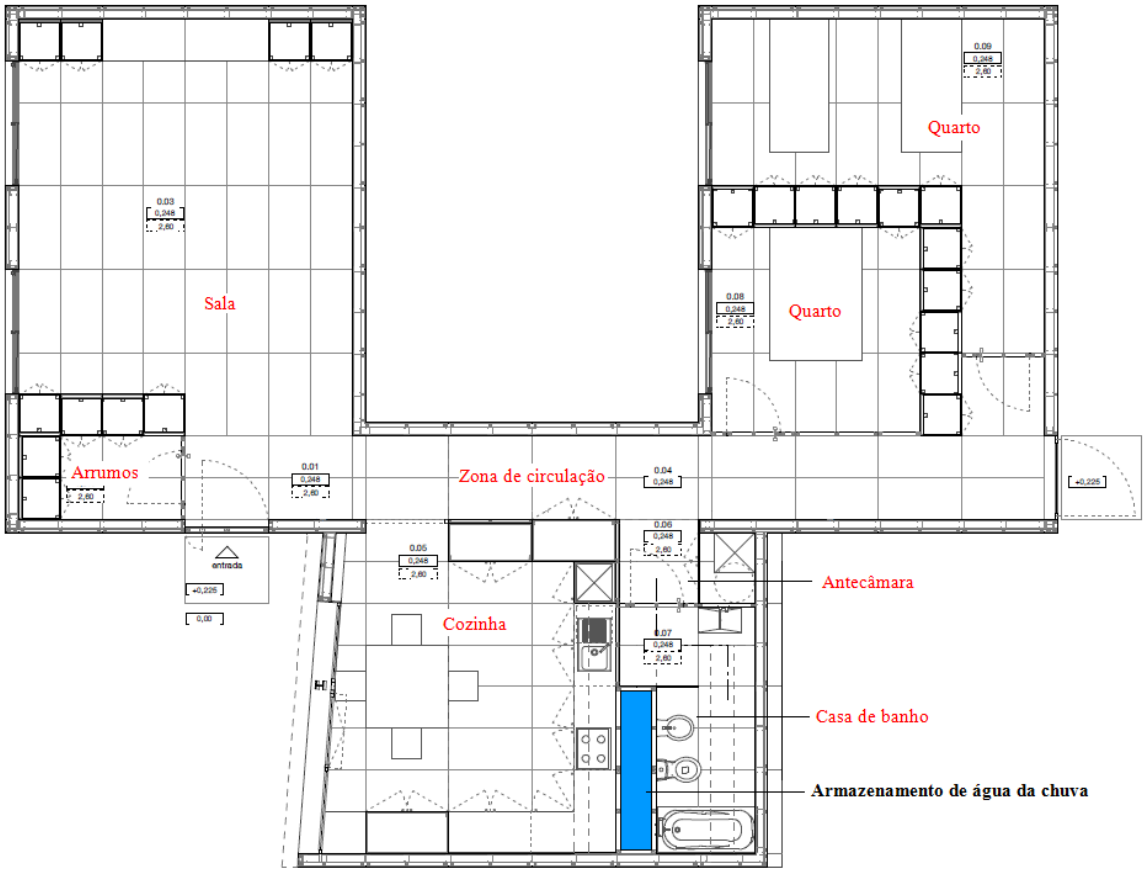


Fig.6.6 – Planta casa S.E.R. [88]

Para a respectiva planta e quantidade de blocos modulares está estipulada uma área bruta total de 128,06 $m^2$, ou seja, nesta área está incluída a área técnica.

Para melhor compreensão da arquitectura da casa S.E.R. é representado na Figura 6.7 um corte.

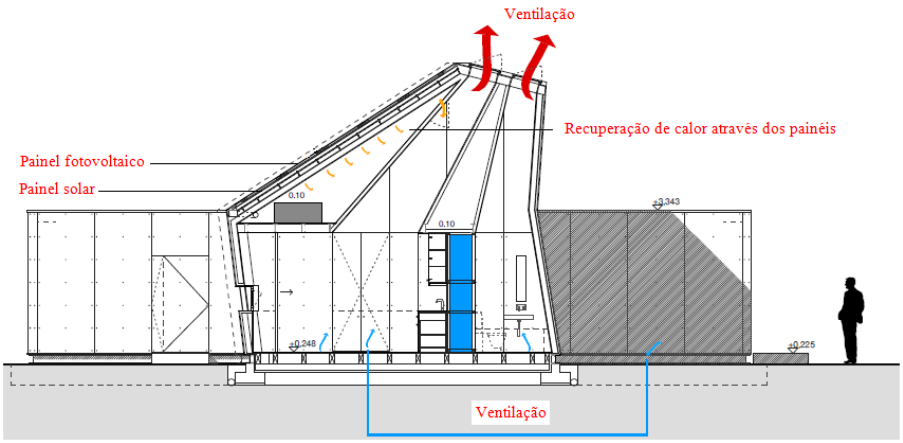


Fig.6.7 – Corte da casa S.E.R. [88]

## 6.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS

Como já foi dito anteriormente, a casa S.E.R. foi projectada com uma arquitectura e com sistemas construtivos específicos de modo a que a climatização e a produção de AQS fosse feita com o objectivo de utilizar a menor quantidade possível de energias fósseis. Para atingir este objectivo, esta casa recorre a uma fonte de energia renovável, nomeadamente a energia solar, utilizando painéis solares e fotovoltaicos.

Embora não sendo o objectivo desta dissertação colocar em causa o sistema implementado na construção desta casa, irá abordar-se uma alternativa aos sistemas utilizados, optando por outra fonte de energia renovável, mais em concreto, a geotermia.

A alternativa aqui apresentada é, grosso modo, similar à que foi utilizada no anterior caso de estudo, embora com algumas diferenças relativamente ao aproveitamento solar. Será apresentada uma proposta que tem em conta fazer a climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e a produção de AQS apenas com a fonte de energia renovável geotermia e não com o apoio da solar.

Nesta casa também é possível fazer um aproveitamento solar para fazer o apoio à geotermia, através de painéis solares. No entanto, o estudo relativamente ao aproveitamento solar não faz parte do objectivo desta dissertação. O objectivo é retirar todos os painéis solares, ficando apenas os fotovoltaicos e usar apenas a geotermia para as finalidades já apresentadas.

Para a casa S.E.R. está estipulado um aproveitamento geotérmico com o tipo de captação vertical, uma bomba de calor geotérmica terra/água e o pavimento radiante como sistema de distribuição. Não se optou por usar ventiloconvectores porque, sendo esta uma casa com baixo consumo energético (devido aos sistemas construtivos) o pavimento radiante é suficiente para a climatização.

No entanto, foi tida em conta a filosofia da casa S.E.R., ou seja, o sistema geotérmico foi dimensionado para o tamanho máximo que poderá vir a ter casa. O único campo que se altera fisicamente com o desenvolvimento do tamanho da casa é o pavimento radiante. A zona técnica e o furo mantêm-se exactamente no mesmo local e a bomba de calor é escolhida para o tamanho máximo que a casa possa a vir ter.

Relativamente à situação do pavimento radiante, a alternativa é ficarem caixas de distribuição com espaços suficientes para se incorporarem mais circuitos ao longo do tempo.

Da mesma forma que no caso de estudo anterior, serão abordados quase todos os campos que visam um sistema geotérmico.

O único campo que não será objecto de estudo desta dissertação é a análise térmica da casa. Visto não se ter acesso aos dados e elementos necessários para fazer o estudo, não foi possível obter resultados.

No entanto, analisando o caso da moradia, o estudo térmico serviu apenas para fazer uma comparação com os valores encontrados no dimensionamento, logo, este campo não terá grande influência na abordagem da tecnologia abordada na casa S.E.R..

É importante referir que os valores dimensionados e apresentados neste caso de estudo foram determinados pela mesma empresa responsável pelo caso de estudo da moradia e para as mesmas condições, ou seja, para o caso da casa S.E.R. ser implementada no Porto e com tipo de captação vertical.

Visto não se ter feito um estudo térmico sobre a casa S.E.R., nos próximos parágrafos apresenta-se a análise dos restantes aspectos construtivos da geotermia aplicada a este caso de estudo.

## 6.4. TIPO DE CAPTAÇÃO

A escolha do tipo de captação num sistema geotérmico é feita segundo alguns aspectos de observação, enumerados no capítulo 4. Na casa S.E.R. poderiam ser utilizados o tipo de captação vertical, horizontal, mista e nível freático, consoante as condições específicas de cada um dos tipos de captação também enunciadas no mesmo capítulo.

Como foi dito anteriormente, na casa S.E.R. foram consideradas algumas condições idênticas ao caso de estudo anterior, nomeadamente o uso de uma bomba de calor geotérmica com arrefecimento passivo; daí o tipo de captação mais recomendável a ser utilizado é o vertical com sondas geotérmicas.

Após a escolha do tipo de captação far-se-á a análise ao dimensionamento do tipo de captação.

### 6.4.1. DIMENSIONAMENTO DO TIPO DE CAPTAÇÃO

Antes de fazer o dimensionamento do tipo de captação poder-se-ia fazer um pré-dimensionamento, de acordo com o que se fez no caso de estudo anterior, mas tal não foi possível por não se dispor dos valores relativos às necessidades energéticas da casa.

O dimensionamento foi feito para a situação crítica, ou seja, para as dimensões máximas que a casa possa vir a ter. Neste caso optou-se por uma situação de um módulo principal mais dois secundários, perfazendo uma área da zona total a aquecer de aproximadamente 128,06 $m^2$ (incluindo a área técnica em mezanino).

De modo a considerar possíveis erros da área relativamente ao número de módulos adoptados, optou-se por arredondar esta área para 140 $m^2$.

Nos próximos dois quadros (Quadro 6.1 e 6.2) serão apresentadas as variáveis necessárias para o dimensionamento e os resultados obtidos. Mais uma vez, para uma melhor compreensão, será feita a distinção entre os dados fornecidos e os calculados através de cores, sendo o vermelho para os fornecidos e os azuis para os calculados.

O dimensionamento aqui apresentado foi feito através do mesmo software que foi usado no caso de estudo da moradia.

Quadro 6.1 – Cálculo de consumo da casa S.E.R.

| Cálculo de consumo | |
|---|---|
| Área da zona a aquecer | 140 $m^2$ |
| Local da instalação | Porto |
| Volume habitável | 378 $m^3$ |

Pela análise do projecto de arquitectura, foi possível observar que havia divisões da casa que tinham um pé-direito de 2,60 metros e outras em que era variável. Devido a esta situação, optou-se por um pé-direito de 2,70 metros, que também é o mesmo da moradia da Quinta dos Cepêdas.

Para o dimensionamento foi considerado a mesma base cálculo, ou seja, para o cálculo das perdas térmicas e das necessidades de aquecimento anual usaram-se as mesmas fórmulas. Para a área da zona a aquecer de 140 $m^2$, as perdas térmicas são de 7,4 kW.

Na casa S.E.R. optou-se por usar as mesmas variáveis para o cálculo das perdas térmicas e das necessidades de aquecimento anual (o valor destas variáveis pode, no entanto, ser diferente).

Uma variável a alterar e que diminuiria consideravelmente as perdas térmicas é o coeficiente G do isolamento, que pelo método expedito Francês (utilizado no dimensionamento), pode ir até um valor de 0,65 W/ºC.m$^3$, que corresponde a edifícios com um melhor conforto térmico, reduzido o consumo energético e com pouca emissão de gases que provocam o efeito de estufa, [89].

Para a casa S.E.R., num futuro dimensionamento, poder-se-ia avaliar este valor, que permite chegar a um número de perdas térmicas na ordem dos 5,4 kW (para uma área de 140 m$^2$ e volume 378 m$^3$) e, consequentemente, uma diminuição na profundidade do furo.

Não fazendo parte do objectivo desta dissertação simular dimensionamentos, optou-se por usar o mesmo valor de G utilizado na moradia.

Relativamente às outras variáveis, usaram-se os mesmos valores que no caso da moradia (Quadro 6.2).

Quadro 6.2 – Dados térmicos para aquecimento da casa S.E.R.

| **Dados térmicos para aquecimento da casa S.E.R.** | |
|---|---|
| Perdas térmicas | 7,4 kW |
| Coeficiente G de isolamento (W/ºC.m$^3$) | 0,90 |
| Suplemento de compensação de perdas | 1,2 |
| Profundidade dos furos de captação (para 60 W/m - tipo de solo com mistura de rocha e sedimentos) | 119 m |
| Número de sondas geotérmicas | 1 |
| COP da bomba de calor | 4.7 |
| Temperatura interior | 20 ºC |
| Temperatura exterior corrigida | 2 ºC |
| Horas de aquecimento | 24 h |
| Coeficiente de simultaneidade considerado | 100 % |
| Estação climatológica | Porto |
| Duração da estação de aquecimento | 6,7 meses |
| Graus dias (W/m$^3$.ºC) | 1610 |
| Necessidades de aquecimento anual | 15774 kW.h |

Feito o dimensionamento chegou-se ao resultado da profundidade dos furos de captação com 119 metros (arredondando-se para 120 metros).

Neste caso a profundidade do furo está no limite dos 120 metros, por causa da perda de carga e da capacidade da bomba circuladora da máquina. Pode escolher-se um furo de 120 metros ou dois de 60 metros. Para esta casa, por um motivo de espaço, optou-se por usar apenas um furo com 120 metros.

Para este dimensionamento usou-se uma potência específica de captação de 60 W/m por ser no Porto, onde a carta geológica diz que o solo é constituído por uma mistura de rocha e sedimentos em meio húmido. Se, por acaso, a casa fosse construída noutro local com outro tipo de solo, este valor era diferente e alteraria os resultados obtidos.

Relativamente à sonda geotérmica optou-se também pela mesma, ou seja uma sonda em PE-100 em U duplo de diâmetro 32 mm (o furo terá 4 tubos).

Após saber-se a profundidade do furo de captação passar-se-á à execução do mesmo.

### 6.4.2. EXECUÇÃO DO FURO

Antes de começar a fazer o furo é necessário saber o local no terreno onde decorrerá o procedimento. Para esta casa não se escolheu um local específico para a realização do furo.

O local do furo convém ser escolhido consoante a localização da zona técnica, de modo a este não ficar muito afastado desta, evitando perdas de carga. Por este motivo, antes de escolher o local do furo, escolheu-se um local para a zona técnica.

A zona técnica é um local da habitação que convém ser projectada na fase de execução do projecto de arquitectura. No entanto, para o caso da casa S.E.R. não foi possível projectar esta divisão nessa altura pois o projecto já se encontrava desenvolvido.

Analisando o projecto de arquitectura, tentou-se escolher no interior da casa um local onde se pudesse colocar esta divisão com uma área aproximadamente de 6 $m^2$. No entanto, a arquitectura da casa é muito particular e não foi possível encontrar uma alternativa.

Quando sucede este tipo de problema é normal fazer-se uma zona técnica no exterior. Para a casa S.E.R. optou-se por fazer uma zona técnica subterrânea, junto a uma das paredes da casa que não tem janelas e que dá para o quarto de banho e antecâmara, longe das divisões delicadas (sala e quartos).

Existem dois locais onde se pode fazer o furo, sendo um no lado exterior à casa e à zona técnica e outro dentro da zona técnica. O que fica dentro da zona técnica é feito aquando da construção desta área.

Na casa S.E.R. optou-se por realizar o furo junto à zona técnica, pelas mesmas razões avaliadas no caso da moradia e de modo a que o desenvolvimento do tamanho da casa ao longo do tempo não interfira com o furo.

Neste caso de estudo não foi necessário fazer o ensaio TRT, dadas as necessidades energéticas da casa não atingirem os 30 kW e apenas existir um furo. Nestes casos, opta--se por aumentar a profundidade do furo em cerca de 5 a 10 metros por uma questão de segurança. Contudo, para a casa S.E.R., não se aumentou uma vez que o valor usado para a área de zona a aquecer no dimensionamento está arredondada para um valor superior.

Na Figura 6.8 está representada a localização da zona técnica, assim como, um local para a execução do furo. Visto a zona técnica e a casa S.E.R. não terem grandes fundações o furo pode ficar a uma distância de 1,5 metros das paredes.

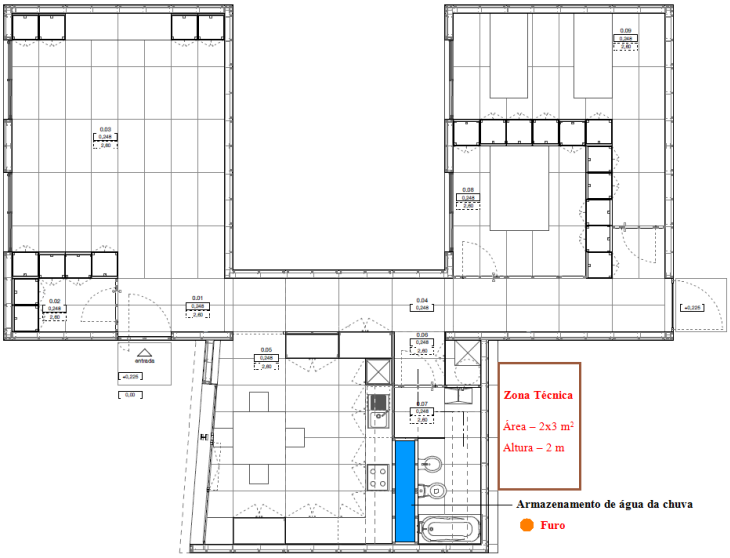


Fig.6.8 – Localização da zona técnica e do furo na casa S.E.R.

## 6.5. ZONA TÉCNICA

A localização da zona técnica já apresentada no parágrafo anterior tem uma área de 3x2 $m^2$ e uma altura de 2 metros (enterrada). A zona técnica convém ter dimensões de maneira a que caibam todos os equipamentos necessários, assim como acesso e espaço para eventuais manutenções.

Na Figura 6.9 é apresentada a zona técnica com os equipamentos necessários para a implementação do sistema geotérmico, no entanto, também lá podem ficar outros equipamentos necessários aos painéis fotovoltaicos e o termoacumulador.

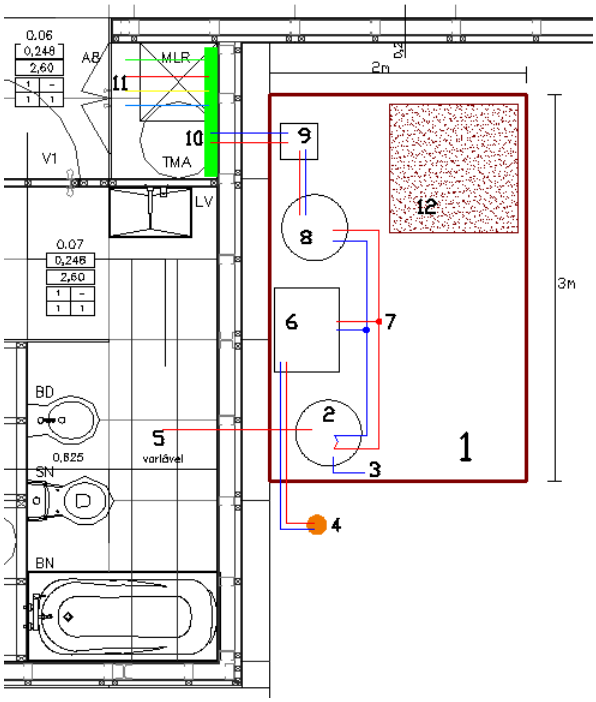


Fig.6.9 – Zona técnica da casa S.E.R.

Quadro 6.3 – Legenda da zona técnica da casa S.E.R.

| Legenda | |
|---|---|
| 1 | Zona técnica 2 da casa S.E.R. |
| 2 | Depósito de AQS (300 litros) |
| 3 | Entrada da água da rede |
| 4 | Furo / Sonda geotérmica |
| 5 | Saída AQS |
| 6 | Bomba de calor geotérmica 9 kW |
| 7 | Válvula de 3 vias monitorizada |
| 8 | Depósito de inércia (200 litros) |
| 9 | Grupo de impulsão |
| 10 | Caixa de distribuição dos colectores |
| 11 | Circuitos do pavimento radiante |
| 12 | Tampa de acesso á zona técnica |

No Quadro 6.3, a zona técnica está denominada como sendo a segunda zona, visto já existir no projecto inicial uma área técnica no desvão do módulo "motor" (mezanino).

Na Figura 6.10 é apresentado o esquema hidráulico simplificado que permite fazer a climatização ambiente e a produção das AQS na casa S.E.R..

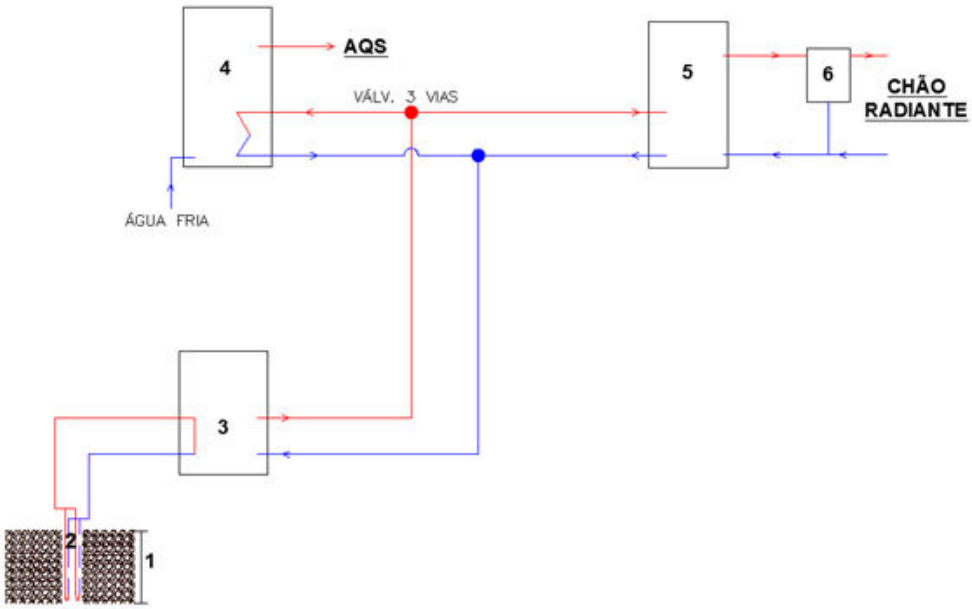


Fig.6.10 – Esquema hidráulico da casa S.E.R.

Quadro 6.4 – Legenda do esquema hidráulico da casa S.E.R.

| Legenda | |
|---|---|
| 1 | Profundidade de 120 metros para o furo |
| 2 | Sondas geotérmicas |
| 3 | Bomba de calor geotérmica 9 kW |
| 4 | Depósito de AQS (300 litros) |
| 5 | Depósito de inércia (200 litros) |
| 6 | Grupo de impulsão |

A zona técnica é constituída por quase todos os equipamentos e circuitos representados na Figura 6.10, à excepção da captação vertical (furo/sonda) e dos painéis fotovoltaicos que ficam no exterior.

No próximo parágrafo serão apresentadas as características de alguns dos equipamentos usados na zona técnica da casa S.E.R., nomeadamente a bomba de calor, o depósito de AQS e de inércia. O grupo de impulsão é exactamente o mesmo que se usou na moradia.

É importante salientar que a localização da zona técnica não é a única possível para a casa S.E.R., isto é, um arranjo mais profundo na arquitectura da casa permitiria colocá-la no interior.

### 6.5.1. BOMBA DE CALOR

A bomba de calor geotérmica utilizada neste sistema geotérmico é do tipo terra/água, sendo de 9 kW e tendo arrefecimento passivo integrado. No Quadro 6.5 são apresentadas as características da bomba de calor.

Quadro 6.5 – Características da bomba de calor geotérmica usada na casa S.E.R.

| Bomba de calor geotérmica SWC 80H/K | |
|---|---|
| **Performances** | |
| Potência calorífica / COP com B0/W35 segundo EN 225 com um Δt de 10 K | 9,1 kW / 4,7 |
| Potência calorífica / COP com B0/W35 segundo EN 14511 com um Δt de 5 K | 8,9 kW / 4,5 |
| Caudal de água glicolada da fonte de calor | 1900 l/h |
| Caudal de água para o aquecimento | 1500 l/h |
| Peso de fluido frigorífico $R_{407}C$ | 2,1 kg |
| **Valores de utilização** | |
| Valores de utilização da água de aquecimento | 20 a 65 ºC |
| Valores de utilização de água glicolada | -5 a 25 ºC |

Quadro 6.6 – Características da bomba de calor geotérmica usada na casa S.E.R. (continuação)

| Bomba de calor geotérmica SWC 80H/K (continuação) | |
|---|---|
| Pressão diferencial no circuito de aquecimento com um Δt de 7 K | 0,41 bar |
| Pressão diferencial no circuito de água glicolada com um Δt de 4 K | 0,68 bar |
| **Aparelho** | |
| Dimensões: Largura x Profundidade x Altura | 650 x 500 x 1550 mm |
| Peso incluindo embalagem de transporte | 203 kg |
| **Características eléctricas** | |
| Tensão / consumo máximo da bomba de calor | 400 V / 6,9 A |
| Resistência eléctrica de apoio integrado na bomba de calor | 2 / 4 / 6 kW |
| Consumo em B0/W35 segundo EN 14511 | 1,98 kW / 3,7 A |

A função da bomba de calor geotérmica neste caso de estudo foi a de produzir energia para permitir fazer a climatização ambiente e AQS.

Similarmente ao caso anterior, é dada prioridade à produção de AQS sobre a climatização, através da existência de uma válvula de três vias monitorizada que permite inverter o circuito de climatização quando existe a necessidade de águas quentes sanitárias.

Quando acontece esta situação, a climatização é assegurada pelo depósito de inércia.

### 6.5.2. Depósito de AQS

O depósito de AQS para a casa S.E.R. foi dimensionado segundo os mesmo princípios que a moradia.

No Quadro 6.6 referem-se as variáveis presentes no dimensionamento, indicando novamente a vermelho as variáveis emitidas e a azul as calculadas.

Quadro 6.7 – Dados térmicos para a água sanitária

| Dados térmicos para a água sanitária | |
|---|---|
| Base de consumo (litros/dia) | 300 L/dia |
| Temperatura de água quente | 45 ℃ |
| Temperatura de água fria | 12 ℃ |
| Necessidade de AQS anual | 4203 kW.h |

O depósito tem a mesma forma que o apresentado no caso de estudo anterior, sendo apenas diferente na quantidade de serpentinas existentes. Como neste caso de estudo não se contabilizou o aproveitamento solar, o depósito de AQS tem apenas uma serpentina destinada à bomba de calor geotérmica.

A produção de AQS é feita também nas mesmas condições, ou seja, são produzidos 300 litros de água quente sanitária por dia a 45 °C e 60 °C uma vez por semana para desinfecção térmica.

#### 6.5.3. DEPÓSITO DE INÉRCIA

O depósito de inércia a usar na instalação da casa S.E.R. tem os mesmos princípios de funcionamento que o utilizado na moradia da Quinta dos Cepêdas e foi dimensionado também da mesma forma.

A base de dimensionamento do depósito de inércia é considerar 1 litro por 1 $m^2$ de área de zona a aquecer. Na casa S.E.R. a área de zona a aquecer considerada foi de 140 $m^2$, logo, tem-se um depósito de inércia de 140 litros, no entanto, a capacidade mínima existente é de 200 litros - daí ter-se considerado um depósito com esta capacidade.

#### 6.5.4. GRUPO DE IMPULSÃO

O grupo de impulsão é exactamente o mesmo que foi utilizado anteriormente e usado para as mesmas condições.

### 6.6. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Relativamente aos sistemas de distribuição, na casa S.E.R. optou-se por utilizar apenas o pavimento radiante, visto ser uma casa com baixas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Aboliu-se, assim, totalmente a utilização de ventiloconvectores.

O tipo de pavimento radiante a utilizar, o seu dimensionamento, os materiais utilizados, as tarefas executadas e os cuidados recomendados são os mesmos tidos em conta na análise da moradia do caso de estudo anterior.

Para a casa S.E.R. apenas existe um cuidado relativamente ao número de circuitos existentes, que vai aumentando com o aumento de tamanho da casa ao longo do tempo.

Neste caso, a caixa de distribuição será projectada para o número máximo de colectores que a casa necessite tendo em conta a sua máxima dimensão (para este caso foi de 140 $m^2$). Inicialmente são utilizados alguns colectores e com o aumento do tamanho da casa, os circuitos futuros serão ligados aos colectores restantes.

A localização da caixa de distribuição deve ser a melhor, de tal maneira que permita, aquando do aumento do espaço modular, fazer as ligações. Na Figura 6.9 foi apresentada a planta da casa com uma alternativa para a localização da caixa de distribuição.

Durante a construção do primeiro módulo, o ideal seria deixar negativos para os tubos do pavimento radiante aplicáveis numa situação futura.

Como foi referido na análise do pavimento radiante da moradia, o tamanho do tubo de cada circuito tem um valor máximo de 130 metros por causa das perdas de carga. Este aspecto é muito relevante, pois o aumento dos módulos pode levar a que este valor seja ultrapassado.

Se isto acontecer é necessário usar outra caixa de distribuição durante o processo de aumento de dimensão da casa (por exemplo na zona de circulação). Esta caixa de distribuição é depois ligada ao depósito de inércia.

Prevendo-se que possa acontecer esta situação é necessário também deixar negativos na construção do primeiro módulo, para a ligação da segunda caixa de distribuição ao depósito de inércia.

O princípio de funcionamento, tanto para o aquecimento como arrefecimento, é o mesmo apresentado na moradia.

## 6.7. ANÁLISE ECONÓMICA

Como foi dito anteriormente, a diferença entre a casa S.E.R. e a moradia é o uso da fonte da energia renovável solar, ou seja, na casa S.E.R. fez-se uma análise de uma alternativa a usar simplesmente a energia geotérmica para fazer a climatização ambiente e a produção de AQS.

A análise económica tem por objectivo avaliar, sob o ponto de vista monetário, a aplicação da geotermia paras as finalidades referidas.

Será feita uma comparação de custos anuais entre vários tipos de energia e um estudo relativamente à amortização do custo do equipamento investido num sistema deste tipo.

### 6.7.1. COMPARAÇÃO DE CUSTOS ANUAIS ENTRE OS VÁRIOS TIPOS DE ENERGIA

Para se fazer a comparação de custos anuais entre vários tipos de energia é fundamental conhecer os consumos anuais relativamente às necessidades de aquecimento e AQS. Através do dimensionamento feito anteriormente, é possível retirar dos Quadros 6.5 e 6.6, o valor de 15774 kW.h para o aquecimento e de 4203kW.h para as AQS, perfazendo um total de 19977 kW.h.

Este valor corresponde ao consumo anual de aquecimento para uma temperatura interior ambiente de aquecimento de 20 °C e para um depósito de água quente sanitária de 300 litros gastos por dia a 45 °C, independentemente da fonte de energia utilizada.

Para a casa S.E.R. também se considerou fazer a climatização de verão através do arrefecimento passivo, daí não se contabilizar este consumo.

Para se fazer o cálculo da comparação dos custos anuais usou-se a tabela da figura 5.67 representada no capítulo 5, referente aos preços das energias, e usou-se o mesmo método, permitindo chegar aos seguintes valores apresentados na Figura 6.11.

| Tipos de Energias | CONSUMO ANUAL aquecimento e água quente | Rendimento | Consumo anual de energia | Custo anual | Aumento do custo anual de várias energias em relação à Geotermia |
|---|---|---|---|---|---|
| Propano | 21378 | 80% | 2,076 Kg | 4,235.68 € | **+ 704%** |
| Gasóleo | 21378 | 75% | 3,036 L | 3,096.24 € | **+ 515%** |
| Gás Natural | 21378 | 80% | 26,722 kWh | 1,780.58 € | **+ 296%** |
| Geotermia | 21378 | 470% | 4,548 kWh | **601.74 €** | |

Fig.6.11 – Comparação entre custos anuais

No caso específico da geotermia, o custo anual é unicamente referente à electricidade gasta. Através da Figura 5.67 é possível observar o custo da electricidade nos respectivos períodos. No entanto, neste caso em estudo, o custo da electricidade foi calculado com base num funcionamento bi-horário, adoptando 50 % para cada período.

Com os valores do custo anual de cada energia é possível fazer um gráfico para análise dos valores obtidos.

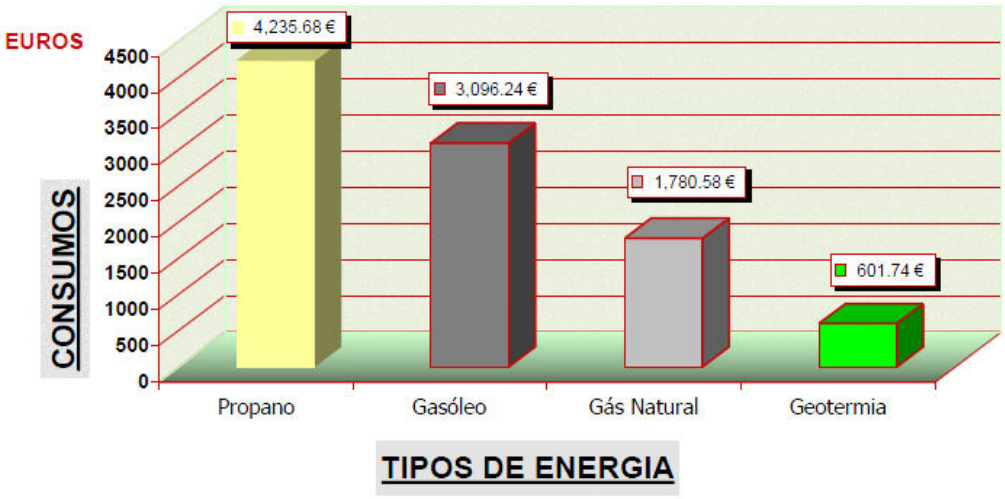


Fig.6.12 – Gráfico da comparação entre custos anuais

Pela análise do gráfico, pode concluir-se mais uma vez que o uso da geotermia para a climatização ambiente e produção de AQS ( é a alternativa mais económica relativamente ao uso das outras energias fósseis comuns, assim como a melhor a nível ambiental.

Esta análise é feita relativamente ao consumo energético, no entanto, o uso desta fonte de energia renovável implica um investimento inicial elevado. Para se averiguar o impacto do investimento inicial é feita uma análise relativamente à amortização do investimento inicial.

### 6.7.2. AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO

Neste parágrafo, apresenta-se primeiramente o gráfico (Figura 6.13) que traduz o investimento inicial (dos equipamentos – bomba de calor geotérmica e furo) em vários sistemas de energia, e o desenvolvimento do consumo ao longo dos anos. No final tiram-se as respectivas conclusões.

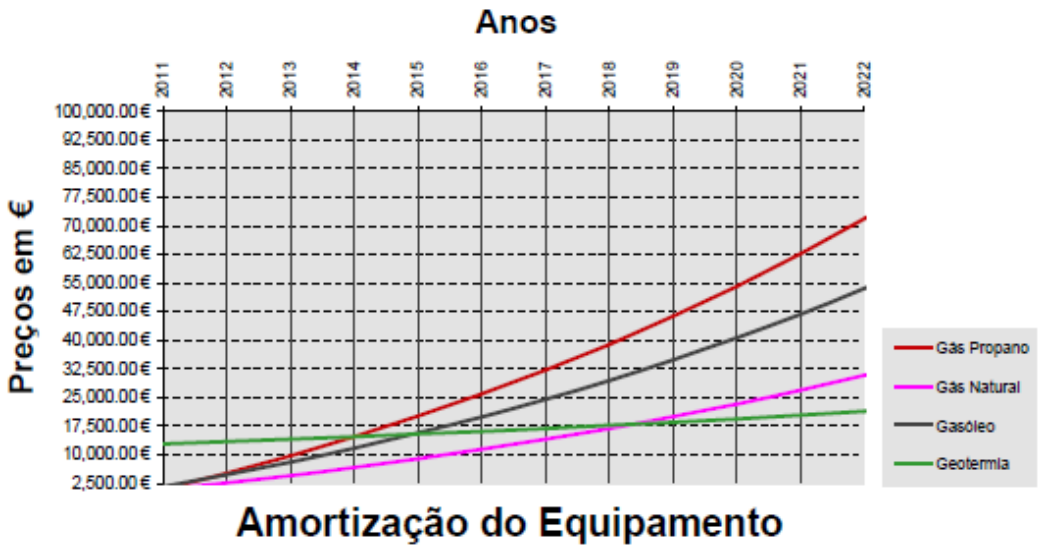


Fig.6.13 – Amortização do equipamento

Pela análise da Figura 6.13 podem ser feitas as seguintes observações:

f) O preço em 2011 é unicamente relativo aos equipamentos específicos para cada um dos tipos de energia e após esta data os valores são acrescidos através dos consumos calculados em 6.7.1. É importante salientar que o preço inicial é só dos equipamentos (sem a montagem).

g) O preço inicial relativamente à geotermia é de 13.000,00€ e é apenas relativo à bomba de calor geotérmica e do furo. Usar gás natural, propano ou gasóleo implica também ter sistemas de distribuição e outros equipamentos como caldeiras, painel solar, depósito de AQS, depósito de inércia, grupo de impulsão e outros; daí o uso desta tecnologia implicar apenas um acréscimo nos referidos equipamentos (bomba de calor geotérmica e furo).

h) Analisando o desenvolvimento do gráfico, verifica-se que é a meio do ano de 2011 que se dá a amortização do equipamento (passados 7,5 anos) face ao sistema que usa gás natural.

i) O uso da geotermia implica um investimento inicial considerável, no entanto, os baixos consumos ao longo dos anos permitem fazer a amortização do investimento (passados apenas 7,5 anos).

j) Tendo em conta a manutenção e a durabilidade do sistema, já mencionados no caso estudo anterior, os 7,5 anos necessários para a amortização do equipamento é visto como um não entrave à aplicação da tecnologia.

k) Para a casa S.E.R. os valores do consumo e da amortização podem ser bem menores, visto ser uma casa que se prevê ter menores consumos energéticos. As várias variáveis que foram analisadas no dimensionamento, mais em concreto o factor G, podem levar a uma descida dos valores nos consumos e no investimento.

l) A climatização ambiente e a produção de AQS feita com a geotermia tem também vantagens ambientais, pois a única energia que consome é a eléctrica.

## 6.8. ALTERNATIVAS AO SISTEMA USADO

A alternativa apresentada para a casa S.E.R. não é a única que faz o aproveitamento das energias renováveis.

Relativamente ao tipo de captação que se utilizou, podia ter-se optado por outro, nomeadamente a captação horizontal. No entanto, ao usar a captação horizontal ter-se-ia que analisar a superfície de terreno existente à volta da casa e não se poderia ter uma bomba de calor geotérmica com arrefecimento passivo integrado (os sistemas construtivos e a arquitectura da casa S.E.R. fazem com que não seja necessário o arrefecimento activo).

Um aspecto interessante de abordar para a casa S.E.R. é o uso de outra tecnologia para as finalidades já enunciadas, que faz também o aproveitamento de energias renováveis – a Aerotermia.

A Aerotermia consiste em retirar o calor do ar através de uma bomba de calor e utilizá-lo na climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e nas AQS (Figura 6.15).

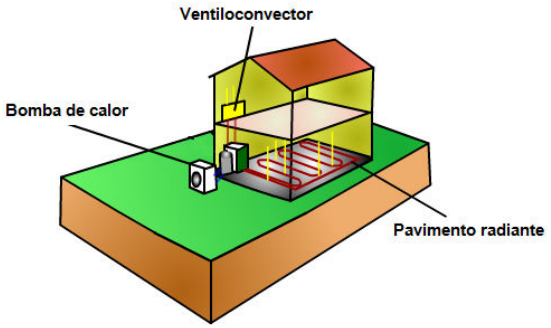


Fig.6.15 – Aerotermia

Esta tecnologia tem a vantagem de não usar os furos (mais económico) e necessita de pouca superfície de terreno à volta da casa.

Os princípios de funcionamento são idênticos aos da geotermia, apenas difere na fonte calor, que em vez de ser o solo, é o ar e necessita de uma rede de tubagem maior.

Este aspecto pode ficar recomendado como possível alternativa de estudo.

# 7
# CONCLUSÕES

## 7.1. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTO FUTUROS

Neste último capítulo serão enunciadas as possíveis conclusões que se obtiveram com a realização desta dissertação e quais os desenvolvimentos futuros que se recomendam e merecem ser estudados.

### 7.1.1. CONCLUSÕES

Durante a realização desta dissertação foi possível concluir alguns aspectos fundamentais relativamente ao uso das energias renováveis nos edifícios e em particular a geotermia de baixa entalpia.

O uso da geotermia nos edifícios, através de bombas de calor geotérmicas, permite obter benefícios ambientais e económicos, nomeadamente na climatização ambiente e nas AQS.

Como foi possível observar pelos capítulos anteriores, 55% da energia final utilizada no consumo doméstico destina-se à climatização ambiente (aquecimento e arrefecimento) e à produção AQS, sendo os restantes consumos essencialmente eléctricos.

Hoje em dia e perante a construção que se pratica em Portugal no aquecimento ambiente e AQS as energias consumidas são essencialmente a energia eléctrica e o gás, em que este tem um peso maior. Já no arrefecimento o consumo maioritário é de energia eléctrica.

Os benefícios ambientais que se obtêm na utilização da geotermia são o facto de se usar uma fonte de energia renovável e abdicar de uma energia não renovável (gás). Contudo, uso desta tecnologia não permite utilizar apenas a energia geotérmica, necessitando também de se usar a eléctrica. No entanto, permite a eliminação do uso do gás (e consequentemente reduzir a emissão de gases poluentes que provocam o efeito de estufa) para as finalidades de aquecimento e AQS.

Já no arrefecimento a situação é diferente porque este tipo de climatização utiliza essencialmente sistemas de ar condicionado, que para além de consumirem apenas energia eléctrica (apesar de alguns apresentarem consumos moderados), continuam a emitir gases poluentes para a atmosfera. Como foi possível analisar nos capítulos anteriores, o uso da geotermia nos edifícios permite fazer o arrefecimento passivo e activo.

No arrefecimento passivo não há quase nenhum consumo de energia eléctrica. Assim este tipo de arrefecimento é vantajoso sob o ponto de vista ambiental. Já o arrefecimento activo utiliza também a energia eléctrica além da geotérmica.

A geotermia aplicada na construção permite abdicar da energia fóssil gás e utilizar apenas a eléctrica em menor escala. A energia eléctrica fornecida a uma habitação pode ser proveniente do uso também de fontes renováveis, como a energia eólica ou hídrica, ou em certos países ou regiões como o Açores através da geotermia (alta entalpia).

Já no campo económico, os benefícios da utilização da geotermia são mais visíveis. Nos dois casos de estudo analisados foi possível analisar a diferença dos custos existentes entre os vários tipos de energia possíveis para fazer a climatização ambiente e a produção de AQS. Foi possível concluir que a geotermia era a alternativa mais económica em termos de consumo e com uma amortização a curto/médio prazo.

Como já foi dito, os consumos energéticos maioritários de uma habitação são tradicionalmente de energia eléctrica e de gás e os custos destas energias têm tendência a subir ou a continuar a ter valores elevados. A geotermia nos edifícios aparece como uma alternativa positiva a este panorama, abdicando do gás (energia fóssil com custos elevados) e utilizando apenas energia eléctrica em menor escala.

Nos casos de estudo analisados verificou-se que a aplicação desta tecnologia implica um custo de investimento elevado. No entanto, foi possível observar que os baixos consumos eléctricos obtidos fizeram com que o investimento tivesse um retorno possível num curto período de tempo.

Estas justificações aqui apresentadas são legítimas pelo facto de que os edifícios, independentemente de terem sistemas construtivos recomendáveis sob o ponto de vista energético, continuam a ter consumos, pois as pessoas são cada vez mais exigentes na obtenção de um determinado conforto térmico nas habitações.

O último aspecto a concluir nesta dissertação está relacionado directamente com a aplicação da tecnologia. Como é possível analisar pelo Capítulo 4, existem vários tipos de aplicação da geotermia aos edifícios, onde o tipo de captação tem um peso muito grande na sua diferenciação.

Foram abordados especificamente os tipos de captação mais usados em Portugal, a captação horizontal com colectores geotérmicos e vertical por sondas geotérmicas. São os tipos de captação mais correntes, sendo os outros (captação em lençol freático, captação vertical por pilares geotérmicos e captação mista) também referenciados no trabalho e utilizados em casos muito especiais, implicando a análises muito particulares.

A escolha do tipo de captação a usar é muito relevante na aplicação de um sistema geotérmico. É necessário avaliar todos os passos que estão envolvidos em cada tipo de captação e verificar se são cumpridos todos os requisitos. As recomendações enunciadas nos capítulos anteriores tornam-se quase obrigatórias para um bom funcionamento do sistema geotérmico. Quando se pretende implementar um sistema geotérmico é recomendável seguir todos os passos apresentados no Capítulo 4.

Nos Capítulos 5 e 6 abordaram-se dois casos de estudo. No primeiro caso de estudo foi feita uma avaliação da aplicação da geotermia a uma moradia, onde se relatou todo o processo da implementação desta tecnologia, desde a fase de projecto até à sua realização.

Neste caso de estudo foi possível verificar quais os problemas que surgiram na sua implementação, quais as recomendações necessárias e quais as particularidades que fizeram toda a diferença. No Capítulo 5 estão apresentados todos os passos que estiveram envolvidos na aplicação da geotermia a uma moradia com o tipo de captação vertical com sondas geotérmicas. Pode, portanto, servir como um breve guia para futuras aplicações geotérmicas em edifícios.

Já no segundo caso foi proposta a aplicação da geotermia a uma casa em estudo na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (casa S.E.R.), com base nos conhecimentos obtidos no anterior caso analisado.

Esta proposta traduziu-se, assim, na utilização da geotermia como fonte de energia, abdicando da energia solar, para as finalidades de climatização ambiente e produção de AQS.

Não sabendo os consumos energéticos reais da casa S.E.R. foi possível concluir que a geotermia é uma alternativa a ser usada na casa, devido aos valores (custos) que se obtiveram. Também foi dito no fim do capítulo deste caso de estudo que existe outra alternativa a usar nesta casa. Esta alternativa passa por utilizar a aerotermia em detrimento da geotermia, onde é possível obter custos mais reduzidos em termos de investimento inicial.

Actualmente todos os edifícios são obrigados por lei a incorporar painéis solares, de modo a fazerem apoio na produção das AQS. Como foi possível observar ao longo desta dissertação, a geotermia é uma fonte de energia renovável que aplicada nos edifícios permite abdicar dos painéis solares.

Os painéis solares servem apenas para produzir AQS quando existem temperaturas exteriores óptimas, enquanto a geotermia permite fazer a climatização e as AQS durante todo o ano, qualquer que seja a temperatura exterior.

Esta dissertação permitiu analisar a tecnologia geotermia nos edifícios, analisando todas as implicações construtivas assim como avaliar as vantagens económicas e ambientais provenientes da sua utilização.

### 7.1.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Sendo a geotermia aplicada aos edifícios uma tecnologia recente em Portugal Continental, seria interessante poder-se monitorizar os consumos e custos reais da moradia (caso de estudo).

Uma vez que os painéis solares não tiveram, até há bem pouco tempo, qualquer concorrência no mercado relativamente ao uso de energias renováveis nos edifícios, a geotermia surge como uma potencial concorrente para o futuro.

De salientar também a importância do conhecimento desta tecnologia, para que esta não seja encarada como uma alternativa dispendiosa. Deste modo há que desmistificar essa ideia, uma vez como foi observado no Capítulo 5, os custos da moradia com geotermia relativos ao consumo anual de energia estão muito aquém dos altos valores do gás natural, gasóleo ou gás propano que têm tendência a subir de preço.

De referir também a importância da informação dever ser transmitida com mais convicção, de modo a retirar o protagonismo dos painéis solares, dando assim um lugar à geotermia na construção.

Seria também interessante fazer-se um estudo comparativo entre os painéis solares e os vários tipos de geotermia aplicados aos edifícios, analisando consumos e custos.

De acordo com o regulamento RCCTE é obrigatória a instalação de painéis solares (energia solar) térmicos para o aquecimento das águas sanitárias. No entanto, para o caso de outras fontes de energias renováveis, a sua utilização é apenas *valorizada*.

Pode dizer-se, que não faz sentido existir a obrigatoriedade da instalação de painéis solares mesmo quando há à priori a opção de investimento noutras tecnologias.

Torna-se também pertinente, a esta altura, lembrar que existem alternativas tecnológicas para a casa S.E.R., que usam outras fontes de energia renovável. Isto é, importa salientar que a proposta de implementação da tecnologia geotermia nos edifícios não é a única viável para a casa S.E.R. e possivelmente para outras habitações. A aerotermia (usa o calor do ar e não do solo como a geotermia) surge, também, como uma alternativa com o mesmo fim: a climatização ambiente e AQS.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Preâmbulo. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[2] Fernandes, Eduardo Oliveira. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[3] www.clubofrome.org. 25/03/2011.

[4] Meadows, Donella H. "Dana". A Report for the Club of Rome´s project on the predicament of mankind. *The limits to growth*. Universe Books, New York, 1972.

[5] Ribeiro, Fernando José Moutinho. *Avaliação de Sustentabilidade Energética em Edifícios com Arquitecturas Polimórficas*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

[6] IUCN. Living resource conservation for sustainable development internacional union for conservation of nature and natural resources. *World Conservation Strategy*, Gland, 1980.

[7] G. Brundtlandt. *The world commission on environment and developmente*. Our common future. Oxford University Press, 1987.

[8]www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/saibamais/Pages/Marcos.aspx. 28/03/201.

[9] www.portal-energia.com/protocolo-de-quioto. 28/03/201.

[10] www.quercus.pt. 25/03/201. 28/03/201.

[11] Correia, Mariana. Sustentabilidade, Conceito e Desenvolvimento. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[12] www.rccte.com/ficheiros/rccte.pdf. 25/03/201.

[13] www.dre.pt/pdf1sdip/2006/04/067A00/24162468.pdf. 25/03/2011.

[14]www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:PT: PDF. 25/03/2011.

[15] www.adene.pt/NR/rdonlyres/E8BD54A9-11C8-4DE3A27D41F92546DF84/19/Decretolein78_2006.pdf. 25/03/2011.

[16] Curado, António. Certificação Energética. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[17] Almeida, Manuela. Bragança, Luís. Mateus, Ricardo. *Tecnologias para a Sustentabilidade da Construção*. Universidade do Minho Escola de Engenharia. 19/06/2008.

[18] www.construcaosustentavel.pt. 27/03/2011.

[19] Brandão, Nuno da Costa. *Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios Passivos em Portugal*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2008.

[20] Barreto, Miguel. Tipologias Construtivas. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[21] EDP – Energias de Portugal. ADENE. *Guia Prático da Eficiência Energética*. Sair de casa. 2006.

[22] European Commission. *Europe´s energy position – presente & future*. 2008.

[23] Loureiro, David. *Os afazeres das Energias Renováveis*. LNEG e UESEO. IV Semana do Ambiente. Lisboa. 2010.

[24] www.ageneal.pt. 01/04/2011.

[25] www.energiasrenovaveis.com. 02/04/2011.

[26] Vários autores. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[27] www.ec.europa.eu/energy/renewables/doc/sec_2008_57__electricity_report.pdf. 03/04/2011.

[28] SCE. *Energia Geotérmica aplicada na Indústria*. ADENE. Batalha. 2009.

[29] Isolani, Pieraldo. *Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Deco. Lisboa. 2008.

[30] www.eficiencia-energetica.com. 03/04/2011.

[31] Law, Ryan. *Geothermal Systems in the Chalk of the South East of England: Methods of Predicting Thermal Transport in a Fractured Aquifer*. University of Birmingham. 2009.

[32] www.energiasalternativas.webnode.com.pt. 05/04/2011.

[33] Carvalho, Martins. *Recursos geotérmicos e seu aproveitamento em Portugal*. Coruña. 2004.

[34] Bicudo, Carlos. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[35] www.siaram.azores.gov.pt/energia-recursos-hidricos/geotermia/_texto.html. 08/04/2011.

[36] Bicudo, Carlos. SOGEO – Grupo EDA. *Centrais Geotérmicas da Ribeira Grande e do Pico Vermelho*. 2010.

[37] www.e-geo.ineti.pt/edicoes_online/diversos/rec_geotermicos/indice.htm. 11/04/2011.

[38] www.energia.pt/pt/geotermica. 12/04/2011.

[39] Lourenço, Carla. Cruz, José. *Aproveitamentos Geotérmicos em Portugal Continental*. Ponta Delgada. 2005.

[40] Costa, Fernando Alfredo Veiga. *Aproveitamento Passivo de Energias e Geotermia*. Monografia para obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Civil. Universidade Fernando Pessoa. Porto. 2008.

[41] Cruz, José. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[42] www.thermitop.com. 15/04/2011.

[43] Paulo, Adriano José Borralho. *Geotermia*. Arraiolos. 2007.

[44] Lampoassa. *Bombas de calor geotérmicas*. Chama ambiente. Mortágua.

[45] Barreto, Miguel. Tipologias Construtivas. *Energias Renováveis*. Atelier Nunes e Pã, 2009.

[46] www.enat.pt. 16/04/2011.

[47] www.girodgeotermia.com. 17/04/2011.

[48] ADENE, Agência para a Energia. *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE*, M – Colectores Solares Térmicos, M.8, pp. 88, 04/04/2008, Versão 1.3a (n.º 2 do art.º 7º, RCCTE).

[49] www.ineti.pt/projectos/projectos_frameset.aspx?id=13812. 19/04/2011

[50] ADENE, Agência para a Energia. Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, N – Energias Renováveis, N.2, pp. 108, 04/04/2008, Versão 1.3ª.

[51] EED-Earth Energy Designer, Software within physics and ground heat storage. www.buildingphysics.com, 26 de Maio de 2008.

[52] Pinto, Joana Azevedo Ferreira Ribeiro. *Avaliação do Comportamento Higrotérmico de uma Habitação através de Medições "In Situ"*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2010.

[53] Mands, Erich. Sanner, Burkhard. *Energia Geotermica a Poca Profundidad*. Germany.

[54] Caleffi Hydronic Solutions. *Hidráulica 28 – As bombas de calor.* Maia. 2009.

[55] Dimplex. *Manual de Projecção – Aquecer e Arrefecer com Bombas de Calor*. Edição 11/2008.

[56] www.gudenergy.pt/pdf/Prof_UK.pdf. 25/04/2011.

[57] REHAU. *Sistema Raugeo – Para el Aprovechamiento Geotérmico Información Técnica 827600 ES*. 2008. www.rehau.pt/files/Info_Tecnica_RAUGEO_827600_ES.pdf.

[58] www.gudenergy.pt/pdf/SWC_AguaGlicolada-Agua_09.pdf. 02/05/2011.

[59] www.rehau.co.uk/files/1._Using_PE-Xa_in_ground-source_applications.pdf. 06/05/2011.

[60] Law, Ryan. *Geothermal Systems in the Chalk of the South East of England: Methods of Predicting Thermal Transport in a Fractured Aquifer*. University of Birmingham. 2009.

[61] www.rehau.nl/files/Technische_Information_RAUGEO_HELIX_827610.pdf. 06/05/2011.

[62] REHAU. Raugeo Helix PE-XA. La forma compacta e innovadora para aprovechar la energia geotérmica. www.rehau.es. 07/05/2011.

[63] www.rehau.pt/files/Info_Tecnica_RAUGEO_827600_ES.pdf. 07/05/2011.

[64] www.ingeo.es/test%20respuesta.html. 08/05/2011.

[65] www.response-test.de/port/responsetest.html. 08/05/2011.

[66] Sanner, Burkhard. Mands, Erich. Sauer, Marc. Grundmann, Edgar. *Technology, development status, and routine application of Thermal Response Test*. 2007. www.sanner-geo.de/media/final$20paper$20GeRT$20status.pdf. 15/05/2011.

[67] http://www.gtssnc.com/download/GEROtherm-catalog_corr.pdf. 19/05/2011.

[68] Tubofuro. *Catálogo de Geotermia*. www.tubofuro.pt/TABELA/GEOTERMIA.pdf. 20/05/2011.

[69] Geominho. *Perfurações de Furos Geotérmicos*. 2010. www.geominho.pt. 23/05/2011.

[70] Enertes. *Eficiencia Energética en Calefacción y Refrigeración: Aprovechamientos Geotérmicos mediante Bomba de calor*. 2009.

[71] www.enat.pt/pt/subpages.php?id=29&sub=7. 24/05/2011

[72] www.enat.pt/pt/subpages.php?id=7. 01/06/2011.

[73] Stene, J. temperature requirements. *Residential $CO_2$ Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating*, pp. 16, Thesis submitted for the degree of Doktor Ingenior, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 2004. 03/06/2011.

[74] Stene, J. temperature requirements. *Residential CO2 Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating*, pp. 10, Thesis submitted for the degree of Doktor Ingenior, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 2004. 03/06/2011

[75] Uponor. Aplicação de aquecimento radiante e climatização. *Manual Técnico*. 2008. 05/06/2011.

[76] Stene, J. temperature requirements. *Residential $CO_2$ Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating*, pp. 11, Thesis submitted for the degree of Doktor Ingenior, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 2004. 06/06/2011.

[77] Afjei, T. Low-Cost Low-Temperature Heating with Heat Pump Systems. *IEA Heat Pump Centre Newsletter*, Vol. 15, Nº 3, pp. 26-28, 1997. 10/06/2011

[78] Uponor. Aplicação de aquecimento radiante e climatização. *Manual Técnico*. 2008.

[79] www.prediclima.pt/faq.php. 10/06/2011.

[80] Oliveira, Cláudia. *Coberturas ajardinadas tornam cidades mais sustentáveis*. Jardins, 08/02/2011, pp. 18, Portugal. 11/06/2011.

[81] www.repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/1111. 11/06/2011.

[82] www.abcclim.net/calcul-bilan-thermique.html. 13/06/2011.

[83]www.uponor.pt/~/media/Files/Uponor/Portugal/Tarifa/Tabela%20Uponor%202011.ashx. 13/06/2011.

[84] www.nbaa.pt/P_INCURSOES/exposicoes/SER/ser-pt.htm. 14/06/2011.

[85]www.d-arco.blogspot.com/2009/06/nbaa-arquitecturaprojecto-sustainable.html. 15/06/2011.

[86] www.nbaa.pt/P_INCURSOES/exposicoes/SER/ser-pt.htm. 17/06/2011.

[87]www.viroc.pt/viroc/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=117&lang=pt. 15/06/2011.

[88] www.archi-europe.com/archi-saie-awards/342-1.pdf. 22/06/2011.

[89] www.toutsurlisolation.com/Lexique/RT-2005-Reglementation-Thermique-2005. 22/06/2